

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

# **ВІСНИК**

## **НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

*Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"*

**№ 11(985)2013**

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2013

## **Вісник Національного технічного університету "ХПІ"**

Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ» – 2013р. - №11(985) –184 с.

### **Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**

**КВ №5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською та російською мовами.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових Фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. №1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України №6, 2010 р., стор. 3, №20).*

### **Координаційна рада:**

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є. І. СОКОЛ, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.;

Є. Є. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.; А. В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, д-р

техн. наук, проф.; М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; А. І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

В. Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.; В. Д. ДМИТРИЄНКО, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. ДОМНІН, д-р

техн. наук, проф.; В. В. ЄПІФАНОВ, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, проф.;

П. О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.; В. Б. КЛЕПІКОВ, д-р техн. наук, проф.; С. І. КОНДРАШОВ, д-р

техн. наук, проф.; В. М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук, проф.; В. І. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

Г. В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф.; О. К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; В. І. НІКОЛАЄНКО,

канд. іст. наук, проф.; П. Г. ПЕРЕРВА, д-р екон. наук, проф.; В. А. ПУЛЯЄВ, д-р техн. наук, проф.; М.

І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.; Г. М. СУЧКОВ, д-р техн.

наук, проф.; Ю. В. ТИМОФІЄВ, д-р техн. наук, проф.; М. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

### **Редакційна колегія серії:**

**Відповідальний редактор:** Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.

**Відповідальний секретар:** А. В. Івахненко, ст. викладач, Т. Л. Коворотний, асист.

**Члени редколегії:** Л. Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В. Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн.

наук, проф.; Б. В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.; О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.;

Г. І. Львов, д-р техн. наук, проф.; Н. Н. Олександров, д-р техн. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р

екон. наук, проф.; М. І. Погорелов, канд. екон. наук, проф.; Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; Р.

Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Терзіян, д-р техн. наук, проф.; В. І. Тошинський, д-р техн.

наук, проф.; В. І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.

З номеру 42'2012 р. Вісник НТУ «ХПІ» має власну подвійну нумерацію №42 (948).

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ“

Протокол №:3 від « 01 » березня 2013 р.

УДК 629.7.036.001

**Б. Ш. МАМЕДОВ**, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

## КРАТКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Рассматриваются недостатки современной теории воздушно-реактивных двигателей, связанные с ошибочной фундаментальной теоремой о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г., с ошибочными фундаментальными формулами тяги, полетного (тягового) КПД, выведенными академиком Б.С.Стечкиным в 1929 г.

**Ключевые слова:** продуваемый профиль, подъемная сила, тяга, полетный (тяговый) КПД.

### Введение. Постановка проблемы

Современная теория воздушно-реактивных двигателей делится на две части: теоретическую и экспериментальную, которые существуют абсолютно автономно. Это объясняется тем, что теоретическая часть базируется на ошибочных фундаментальных формулах тяги, полетного (тягового) КПД, выведенных академиком Б.С.Стечкиным в 1929 г., и на такой же ошибочной теореме о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г., [1, с.15-20], [2, с.146-153].

С помощью теоретической части современной теории воздушно-реактивных двигателей невозможно правильно объяснить ни одного физического явления, имеющего место при работе воздушно-реактивного двигателя (ВРД), невозможно разработать правильные направления технического прогресса в области авиадвигателестроения.

Например, основное направление технического прогресса в области авиадвигателестроения, связанное с увеличением  $C_a(U)$ , которое предлагает современная теория воздушно-реактивных двигателей, является полностью необоснованным, поскольку оно предлагается без путей устранения кинематической зоны жесткого (упругого) удара в сечении В-В, [1, с.18, рис.1в.].

Например, такое фундаментальное стратегическое понятие, как термодинамический цикл ТРД, ТРДД, ТРДФ в координатах P-V, T-S, является глубоко ошибочным, т.к. струя газового потока по сечению d-d (вход в воздухозаборник) и сечению В-В (выход из воздухозаборника) разорвана, поскольку невозможно поставить знак равенства между расходом газового потока по сечению d-d и В-В, так как  $G_e \gg G_d$ , что нарушает все, без исключения, законы механики истечения жидкостей и газов, энергетический баланс, уравнение Бернулли, законы термодинамики. Этот ошибочный термодинамический цикл, наряду с другими ошибочными положениями современной теории ВРД, вот уже 83 года преподносится студентам авиационных ВУЗов, на факультетах повышения квалификации, на конференциях, международных симпозиумах, в нулевом, с точки зрения науки, знаний, варианте.

Например, такие узловые физические явления, имеющие место при работе ВРД, как процесс генерирования тяги, полетный (тяговый) КПД, подъемная сила

© Б. Ш. МАМЕДОВ, 2013

продуваемого профиля, трактовка процесса генерирования отрывных течений, [3, с.114], которая поставила конструкторов в тупиковое положение, поскольку устранить генерирование неустойчивой работы ВРД, помпажа, согласно существующей трактовке, невозможно, и многие другие физические явления описаны в современной теории воздушно-реактивных двигателей ошибочно.

Все это привело к тому, что выпускники авиационных ВУЗов, будущие конструктора авиадвигателей, покидают его стены, не имея ни малейшего понятия ни о правильном теоретическом и физическом представлении о таком фундаментальном понятии, как процесс генерирования тяги ВРД, ни о правильном термодинамическом цикле ТРД, ТРДД, ТРДФ в координатах P-V, T-S, ни о правильном полетном (тяговом) КПД ВРД, ни о правильной теореме о подъемной силе продуваемого профиля, ни о кинематическом анализе, ни о зонах заторможенного потока, ни о многом другом.

Экспериментальная часть современной теории воздушно-реактивных двигателей – это основа современного проектирования ВРД. Однако следует отметить, что при отсутствии правильной теоретической части требуются десятилетия, чтобы экспериментальная часть вышла бы на уровень правильного понимания того или иного физического явления, имеющего место при работе ВРД.

Все это говорит о том, что современная теория воздушно-реактивных двигателей, в основу которой заложены ошибочные формулы тяги, полетного (тягового) КПД, выведенные академиком Б.С.Стечкиным в 1929 г., и такая же ошибочная теорема о подъемной силе продуваемого профиля, выведенная профессором Н.Е. Жуковским в 1912 г., задержала технический прогресс в области авиадвигателестроения более, чем на 80 лет. Поэтому перед уже созданной единой теорией движителей на непрерывных потоках стояла проблема создания правильной теории воздушно-реактивных двигателей, в которой проведена тесная связь между теорией и экспериментом, которая повысит безопасность полетов путем повышения газодинамической устойчивости работы ВРД на любых режимах полета, которая разработает правильные направления технического прогресса в области авиадвигателестроения, позволяющие достичь неограниченных скоростей полета, и которая полностью заменит существующую в авиационных ВУЗах.

**Критика теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г., постановка цели.**

Известно, что если продуваемый газовый поток отклоняется от продуваемой поверхности на угол атаки  $i$ , превышающий  $5-7^\circ$ , то имеет место отрыв потока от продуваемой поверхности, [3, с.114- 116].

На заре самолетостроения, 1903 г., крылья самолетов, с целью увеличения подъемной силы, устанавливались под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту, что зачастую приводило к генерированию отрыва набегающего потока воздуха от спинки продуваемого профиля крыла самолета. Один из таких вариантов представлен на рис.1, где продуваемый газовый поток (воздух), поз.4, оторвался от спинки продуваемого профиля по линии СС вдоль крыла самолета, поскольку угол атаки  $i$  превысил  $5-7^\circ$ .

В аэродинамической трубе, построенной в России в 1902 г., профессор Н.Е.Жуковский устанавливал продуваемые профили крыльев самолетов точно также – под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту, что приводило к генерированию отрывной зоны Н-С-Н, рис. 1а, по спинке продуваемого профиля. Понятия «зона отрыва продуваемого газового потока от поверхности продуваемого профиля, углы атаки» в

1903 г. были неизвестны.

Рассмотрим такой вариант продувки изолированного профиля, согласно рис.1, на котором представлено:

рис. 1а – продуваемый изолированный профиль крыла самолета, установленный под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту (угол  $\alpha$  на чертеже не показан), с наличием зоны отрыва Н-С-Н от спинки продуваемого профиля;

рис. 1б – характер изменения статических давлений газового потока в зоне отрыва Н-С-Н в режиме вакуумирования, когда зона отрыва Н-С-Н работает как движитель, генерирующий отрицательную тягу, поз.1, и в режиме генерирования ударной волны, поз.2;

рис. 1г – характер изменения осевых ускорений (вторичных динамических - инерционных сил) в зоне отрыва Н-С-Н в режиме вакуумирования, поз.1, и в режиме генерирования ударной волны, поз.2;

рис. 1д – характер изменения первичных движущих сил от изменении статических давлений газового потока в зоне отрыва Н-С-Н в режиме вакуумирования для вывода формулы тяги и полетного (тягового) КПД.

На рис.1 представлен изолированный профиль единичного размаха, который продувается набегающим газовым потоком. Из-за различных геометрических характеристик изолированного профиля по спинке и по корытцу продуваемый газовый поток по спинке в зоне В-С ускоряется, дополнительное действие центробежных сил при этом способствует уменьшению статического давления продуваемого газового потока в сечении С-С, рис. 1, которое является выходным сечением зоны отрыва газового потока, как движителя на непрерывных потоках, зона Н-С-Н.

Если при этом угол атаки  $i$ , который образуется между горизонтальной скоростью, рис.1, поз.4, и спинкой продуваемого профиля превышает  $5-7^\circ$ , то в сечении С-С имеет место генерирование отрыва продуваемого газового потока от спинки изолированного профиля. Если мы имеем дело с продувкой решетки профилей, то при соответствующей скорости продуваемого газового потока по спинке продуваемых профилей всегда генерируется зона отрыва потока, [4, с.67, рис.3.2].

В современной теории воздушно-реактивных двигателей отрывные зоны характеризуются как сопротивления, в которых дополнительно генерируются стоячие ударные волны, которые могут привести к запариванию потока, [4, с.70, рис.3.6].

С позиции уже созданной единой теории движителей на непрерывных потоках мы рассматриваем зону отрыва продуваемого газового потока от спинки продуваемого профиля как зону, в которой в сечении С-С, рис.1, генерируется глубокий вакуум, при этом зона отрыва потока Н-С-Н может работать в двух режимах:

1. В режиме вакуумирования, при котором зона отрыва продуваемого газового потока Н-С-Н работает как движитель на непрерывных потоках, инжектируя в себя воздух из окружающего пространства по сфероиду, рис.1, поз.5, генерируя при этом отрицательную тягу, которая рассчитывается по формулам:

$$R = P_{н\text{сп}} \cdot F_{н\text{сп}} - P_c \cdot F_c, \quad (1)$$

Полетный (тяговый) КПД при этом рассчитывается по формуле:

$$\eta_n = \left( 1 - \frac{P_c F_c}{P_{н_сп} F_{н_сп}} \right) \cdot 100\% , \quad (2)$$

Вывод формул (1), (2), аналогичен выводу формул тяги полетного (тягового) КПД для турбореактивных двигателей, [1, с. 18-19, рис.1].

При работе отрывной зоны Н-С-Н в режиме вакуумирования в обязательном порядке генерируется вектор скорости инжектируемого газового потока, рис.1 поз.3.

Именно этот вектор наблюдал в интерференционном свете в 1912 г. профессор Н.Е.Жуковский при продувке как изолированных профилей, так и решеток. Именно этот вектор инжектируемого газового потока, рис. 1, поз.3, профессор Н.Е.Жуковский, не разобравшись с физической сущностью его генерирования, отождествил с циркуляцией продуваемого газового потока вокруг продуваемого профиля, назвав это явление «присоединенным вихрем». Профессор Н.Е.Жуковский охарактеризовал явление «присоединенного вихря» как открытие, как газодинамическую закономерность, свойственную любому продуваемому профилю, и заложил это ошибочное понятие во многие свои теоретические, глубоко ошибочные, статьи.

Да, это было открытие, но открытие работы отрывной зоны по спинке продуваемого профиля. В этой связи необходимо отметить, что в 1912 г. профессор Н.Е.Жуковский не был знаком ни с углами атаки  $i$  ( $5-7^\circ$ ), ни с отрывными зонами по спинке продуваемого профиля, которые впервые были установлены в 1947 г. в лаборатории лопаточных машин ВВИА им. Н.Е.Жуковского при исследовании глубоких нерасчетных режимов работы центробежного компрессора. [4, с.116].

Необходимо отметить, что если углы атаки  $i$  не превышают  $5-7^\circ$ , то отрывная зона Н-С-Н не генерируется и продуваемый газовый поток обтекает спинку продуваемого профиля ламинарно, при этом инжектируемый газовый поток, рис.1, поз.3, полностью отсутствует. Поэтому существующее в современной теории воздушно-реактивных двигателей утверждение о том, что в контрольной поверхности  $abcd$ , [4, с.55, рис.2.24], векторы скоростей по линиям тока  $ab$  и  $cd$  равны и противоположно направлены, [4, с.54], является прямым нарушением всех законов механики истечения жидкостей и газов, поскольку скорости продуваемого газового потока по линиям тока  $ab$  и  $cd$  всегда равны и имеют одинаковое направление, а теорему о подъемной силе продуваемого профиля необходимо выводить другим путем.

2. В режиме генерирования ударных волн. Профессор Н.Е.Жуковский в 1912 г. оперировал низкими скоростями продуваемого газового потока, поэтому

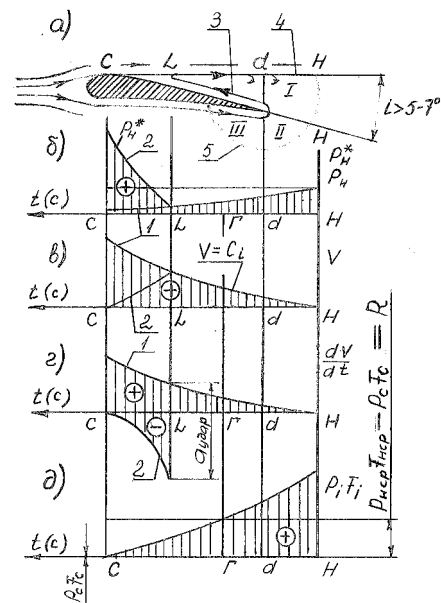


Рис. 1 - Кинематический анализ характера изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений, первичных движущих сил от изменения статических давлений в зоне отрыва продуваемого газового потока Н-С-Н от спинки продуваемого профиля для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД зоны отрыва Н-С-Н, как движителя на непрерывных потоках

инжектируемый вектор газового потока, рис.1, поз.3, существовал постоянно, поскольку разворот инжектируемого газового потока поз.3 до совпадения с потоком поз.4 осуществлялся плавно, без резкого повышения статического давления в зоне L-C.

При увеличении скоростей продуваемого газового потока при повороте инжектируемого газового потока, рис.1, поз.3, его кинетическая энергия движения в зоне L-C мгновенно полностью теряется, переходя в потенциальную энергию давления, рис.1б, поз.2. Резкое увеличение давления газового потока в зоне L-C генерирует мощную ударную волну в колебательном режиме, которая разрушает всю зону отрыва Н-С-Н, затем зона отрыва потока Н-С-Н опять генерируется, работая в режиме вакуумирования, за которым следует режим генерирования ударных волн и т.д., генерируя в окружающее пространство низкоамплитудные высокочастотные ударные волны в колебательном режиме, которые приводят к флаттеру самолета.

Таким образом, в 1912 г. профессор Н.Е.Жуковский, приняв генерирование вектора инжектируемого газового потока, рис.1, поз.3, за газодинамическую закономерность, посчитал, что вокруг любого продуваемого профиля (изолированный профиль, или в решетке профилей) имеет место вращение (циркуляция) продуваемого газового потока вокруг профиля. На этом основании профессор Н.Е.Жуковский вводит ошибочное понятие циркуляции продуваемого газового потока относительно продуваемого профиля

$$\Gamma = t \cdot \Delta w_u, \quad [4, \text{с.54, рис.2.25}], \quad (3)$$

которая легла в основу его ошибочной теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха

$$P = \rho \omega_\infty \Gamma, \quad (4)$$

выведенной им в его «знаменитых (по своей ошибочности – авт.) статьях по вихревой теории гребного винта», [4, с.55 ], где  $t$  – расстояние между продуваемыми профилями в решетке, [4, с.55, рис.2.24],  $\Delta w_u$  – закрутка продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля, [4, с.55, рис.2.25 ],  $\rho$  – плотность продуваемого газового потока,  $\omega_\infty$  – скорость продуваемого газового потока в бесконечности (перед и за профилем одинакова), [4, с.53].

Проанализируем теорему о подъемной силе продуваемого профиля, выведенную профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г. в его статье «Вихревая теория гребного винта», на предмет ее соответствия экспериментальным данным современной теории воздушно-реактивных двигателей .

Согласно теореме о подъемной силе продуваемого профиля, формула (4), максимальное давление продуваемого газового потока на корытце продуваемого профиля находится там, где циркуляция ( $t \cdot \Delta w_u$ ) максимальна, т.е. на выходной кромке продуваемого профиля, а нулевое давление продуваемого газового потока на корытце продуваемого профиля находится там, где циркуляция ( $t \cdot \Delta w_u$ ) равна нулю, т.е. на входной кромке продуваемого профиля, поскольку на входной кромке  $\Delta w_u=0$ , т.е. эпюра давлений по корытцу продуваемого профиля, согласно Н.Е.Жуковскому, имеет максимальное значение на выходной кромке продуваемого профиля и нулевое значение на входной кромке продуваемого профиля, формируя, таким образом, градиент давлений, направленный против потока, что противоречит всем законам механики истечения жидкостей и газов и экспериментальная часть современной теории ВРД четко это подтверждает, она гласит, что максимальное давление продуваемого газового потока на корытце продуваемого профиля находится в зоне

входной кромки и это давление постепенно уменьшается по мере перемещения продуваемого газового потока к выходной кромке продуваемого профиля, формируя, таким образом, градиент давлений, направленный по потоку, [4, с.68, рис.3.3 ], что соответствует всем законам механики истечения жидкостей и газов.

Поэтому физическая основа процесса генерирования подъемной силы продуваемого профиля на основе циркуляции ( $t \cdot \Delta w_u$ ) объяснена профессором Н.Е.Жуковским ошибочно, а теорема о подъемной силе продуваемого профиля, выведенная в его статье «Вихревая теория гребного винта» в 1912г., нарушает все законы механики истечения жидкостей и газов и не может быть фундаментальной.

Поэтому уже созданная единая теория движителей на непрерывных потоках ставила своей целью (заданием) решить ту же самую задачу, которую в 1912 г. профессор Н.Е.Жуковский не смог решить в своей статье «Вихревая теория гребного винта», и на более высоком научном уровне вывести формулу тяги, полетного (тягового) КПД, теорему о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках, которые будут являться фундаментальными, которые будут полностью соответствовать всем законам механики истечения жидкостей и газов и экспериментальным данным современной теории воздушно-реактивных двигателей, [2,с.146-153].

***Критика формул тяги, полетного (тягового) КПД воздушно-реактивных двигателей, выведенных академиком Б.С.Стечкиным в 1929 г.***

Необходимо отметить, что академик Б.С. Стечкин занялся вопросом вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД для воздушно-реактивных двигателей во времена (1926-1929г.г.), когда эти двигатели только зарождались, когда еще полностью отсутствовал теоретический и экспериментальный опыт проектирования и эксплуатации воздушно-реактивных двигателей (ВРД), когда теоретические разработки ученых в области вывода формул тяги для различных движителей носили неточный характер, включая работы Н.Е.Жуковского, К.Э.Циолковского и др..

Другими словами, академику Б.С.Стечкину при выводе формул тяги, полетного (тягового) КПД в 1929 г. не на что было опереться, чтобы убедиться в правильности выведенных им для ВРД формул тяги, полетного (тягового) КПД, поэтому его статья «Теория воздушно-реактивного двигателя», 1929 г., в которой приводится вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД воздушно-реактивных двигателей, должна рассматриваться как первый, но ошибочный, шаг на пути познания человеком такого сложнейшего физического понятия, как процесс генерирования тяги воздушно-реактивным двигателем и не менее сложного теоретического и физического понятия полетного (тягового) КПД воздушно реактивного двигателя.

***Критика контрольного контура, выбранного академиком Б.С. Стечкиным для вывода формул тяги, полетного (тягового) КПД воздушно-реактивных двигателей.***

Контрольный контур для определения тяги ВРД при дозвуковой скорости полета представлен в [3, с.44, рис.1.22]. Контрольный контур для определения тяги ВРД при сверхзвуковой скорости полета представлен в [3, с.44, рис. 1.23].

С позиции уже разработанной единой теории движителей на непрерывных потоках контрольные контура, которые академик Б.С. Стечкин разработал для вывода формул тяги, полетного (тягового) КПД ВРД, абсолютно неверны и имеют следующие ошибки:



1. Контрольный контур при  $V_n > 0$  всегда должен начинаться с зоны заторможенного потока вне зависимости от величины скорости полета  $V_n$ , [1, с. 18, рис.1, поз.2].

Зона заторможенного потока – это физическое явление, которое имеет место перед любым движущимся предметом в любой окружающей среде, рис.2. На рис.2 представлено генерирование зоны заторможенного потока при движении металлического вала с плоским торцом во влажном снегу при  $V_n = 7$  м/с. Форма зоны заторможенного потока – параболоид.

Перед любым ВРД в полете всегда возникает зона заторможенного потока, аналогичная той, которая представлена на рис.2. Начало и форма этой зоны заторможенного потока зависят от скорости полета  $V_n$  и плотности входящего в двигатель газового потока, при увеличении скорости полета начало зоны заторможенного потока, сечение Н-Н, [5, с.26, рис.1], приближается к двигателю, при уменьшении скорости полета сечение Н-Н удаляется от двигателя, увеличение

плотности входящего в двигатель газового потока всегда приближает сечение Н-Н к двигателю, в любом случае изменяя крутизну характеристики изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений (динамических -инерционных сил), первичных движущих сил от изменения статических давлений в зоне Н-В контрольного контура.

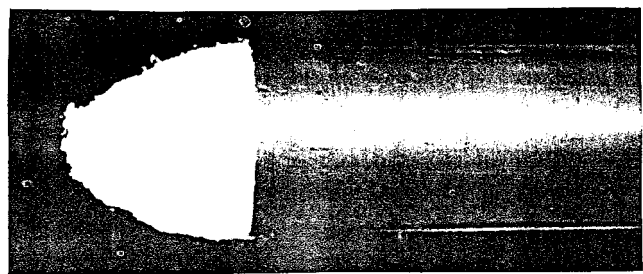


Рис.2 – Генерирование зоны заторможенного потока при движении металлического вала с плоским торцом во влажном снегу со скоростью 7 м/с

Отличительной особенностью зоны заторможенного потока, генерируемой в полете перед любым ВРД, является то, что определенная часть этой зоны, зона Н-f, является динамическим дросселем, который дросселирует (тормозит) основной поток, поступающий в ВРД, в результате чего статика в сечении В-В уменьшается ниже расчетного значения, а осевая скорость  $S_a$ , наоборот, увеличивается выше расчетного значения, [5, с.26, рис.1], что приводит к развитому срыву газового потока по корытцам лопаток первого рабочего колеса (РК) компрессора низкого давления (КНД), к снижению безопасности полетов.

Генерирование зоны заторможенного потока в полете перед воздухозаборником ВРД известно, [3, с.82]. Однако дальнейшее исследование и развитие эта тематика не получила, поскольку шла вразрез с контрольным контуром академика Б.С.Стечкина.

2. Следующей ошибкой контрольного контура, выбранного академиком Б.С.Стечкиным, является отсутствие завершеного контура справа, поскольку любой контрольный контур должен заканчиваться сечением  $H_1-H_1$ , [1, с. 18, рис.1]. Это необходимо для того, чтобы провести полный кинематический анализ характера изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений газового потока в пределах контрольного контура Н-Н<sub>1</sub>. Кинематический анализ, с которым академик Б.С.Стечкин был абсолютно незнаком, позволяет сразу установить, что общая сумма вторичных динамических - инерционных сил в пределах контрольного контура Н-Н<sub>1</sub> всегда равна нулю. Это, в свою очередь, означает, что скорость газового потока никогда не создает тягу ВРД, а реальную формулу тяги ВРД необходимо выводить, исходя только из первичных движущих сил от изменения статических давлений

газового потока в пределах контрольного контура Н-Н<sub>1</sub>, поскольку всегда первична статика, а вторична динамика.

3. Полностью отсутствует характеристика внешних сил, действующих на газовый поток, проходящий по газодинамическому тракту в пределах контрольного контура Н-Н<sub>1</sub>, [1, с. 17], к которым необходимо добавить гравитационные силы, которые в горизонтальном полете не учитываются.

4. Не проведен предварительный кинематический анализ характера изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений (вторичных динамических - инерционных сил), первичных движущих сил от изменения статических давлений, действующих на газовый поток в пределах контрольного контура Н-Н<sub>1</sub>, включая все зоны ВРД, [1, с.18, рис.1]. Это необходимо для того, чтобы сумму вторичных динамических - инерционных сил, действующих на газовый поток в пределах контрольного контура Н-Н<sub>1</sub>, всегда приравнивать нулю, вне зависимости от направлений вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД ВРД.

5. Существует две формулы тяги, полетного (тягового) КПД, дающих одинаковый результат:

а) формула тяги, полетного (тягового) КПД ВРД по внутренним параметрам газового потока при  $V_n \geq 0$ , выводятся с помощью кинематического анализа, или уравнения Эйлера, как проверочный вариант, [1, с 15-20, с. 18, 19, формулы (6), (7), (10), (11)].

б) формула тяги, полетного (тягового) КПД ВРД по внешним параметрам газового потока при  $V_n \geq 0$ , выводятся только с помощью уравнения Эйлера, но с обязательным учетом знаний, полученных при выводе формул тяги, полетного (тягового) КПД ВРД по внутренним параметрам газового потока при  $V_n \geq 0$ .

Ошибки, допущенные академиком Б.С.Стечкиным при выводе формул тяги, полетного (тягового) КПД ВРД, заключаются в том, что он не видел первого варианта а), а сразу взялся решать второй вариант б), для решения которого у него не хватило знаний.

### ***Критика методики применения уравнения Эйлера академиком Б. С. Стечкиным при выводе формул тяги, полетного (тягового) КПД ВРД***

Для правильного применения уравнения Эйлера необходимо дать четкую характеристику внешних сил, действующих на рассматриваемый участок трубки тока, и времени импульса действия внешних сил на рассматриваемый участок трубки тока, под которым следует понимать не время  $t = 1\text{с}$ , а время  $\Delta t$  – время прохождения газовым потоком рассматриваемого участка трубки тока, чего, к сожалению, академик Б.С.Стечкин не сделал.

В своем контрольном контуре академик Б.С.Стечкин рассматривает трубку тока от сечения Н-Н до сечения С-С, отсоединив при этом выходящую (реактивную) струю С-Н<sub>1</sub>. В науке существует незыблемое правило: отсоединил реактивную струю С-Н<sub>1</sub>, будь добр, вместо нее к сечению С-С приложи ее реакцию. К сожалению, академик Б.С.Стечкин этого не сделал, поскольку в уравнении (1.39), [3, с.45], в правой части отсутствует реакция отсоединенной реактивной струи С-Н<sub>1</sub>.

В науке существует и другое незыблемое правило: в одном уравнении запрещается применять составляющие этого уравнения с различными размерностями. В уравнении (1.39), [3, с.45], левая часть имеет размерности кГс (импульса силы), а правая часть имеет размерность кГ (силы), в науке такая смесь размерностей не допускается, поэтому и по форме и по содержанию уравнение (1.39), особенно после

введения интеграла по замкнутому контуру, является чистой фальсификацией уравнения Эйлера.

Заметим, что в уравнении (1.39) сила  $P_c F_c$  абсолютно справедливо отнесена к разряду сил сопротивлений, направленных против потока, а в уравнении (1.41), [3, с.46 ], та же самая сила  $P_c F_c$  отнесена уже к разряду движущих сил, направленных за потоком, что мгновенно констатирует ошибочность вывода формулы тяги (1.41) для ВРД, поэтому существующая методика применения уравнения Эйлера, предложенная академиком Б.С.Стечкиным, ошибочна и свидетельствует о неправильном понимании уравнения Эйлера не только специалистами в области авиадвигателестроения, но и преподавателями авиационных ВУЗов.

Проанализируем формулы тяги, [3, с.46, уравнение (1.41)], полетного (тягового) КПД, [3, с.50, уравнение (1.51)], на предмет их соответствия экспериментальным данным современной теории воздушно-реактивных двигателей:

1. Согласно формуле тяги ВРД по уравнению (1.41), [3, с.46], при  $P_c > P_n$ , т.е. при недорасширенных газовых потоках, тяга двигателя увеличивается. Экспериментальная часть современной теории ВРД этого абсолютно не подтверждает, наоборот она устанавливает, что при  $P_c > P_n$  тяга любого ВРД уменьшается, [3, с. 161, рис.6.3, при  $P_{с.р.} > P_{с.расч.}$ ].

2. Согласно формуле тяги ВРД по уравнению (1.41), [3, с.46 ], увеличение  $F_c$  при  $P_c > P_n$  приводит к существенному увеличению тяги ВРД. Экспериментальная часть современной теории ВРД этого абсолютно не подтверждает, наоборот, она устанавливает, что при  $P_c > P_n$  увеличение  $F_c$  всегда приводит к уменьшению тяги любого ВРД, см. там же.

3. При  $P_c = P_n$  формула тяги ВРД по уравнению (1.41), [3, с.46 ], преобразуется в выражение  $R = G_c(C_c - V_n)$ , согласно которому увеличение  $V_n(M_n)$ , где  $M_n$  – условное обозначение скорости звука, всегда приводит к уменьшению тяги любого ВРД, а при  $C_c = V_n$  тяга любого ВРД равняется нулю. Экспериментальная часть современной теории ВРД этого абсолютно не подтверждает, наоборот, она устанавливает, что при увеличении  $V_n(M_n)$  тяга любого ВРД увеличивается и при  $V_n(M_n) = C_c$  в несколько раз превышает тягу ВРД при  $V_n = 0$ , [3, с.261, рис.8.48 ].

4. При  $P_c = P_n$ ,  $V_n = 0$  формула тяги ВРД по уравнению (1.41), [3, с.46 ], преобразуется в выражение  $R = G_c C_c$ , согласно которому расчет тяги любого ВРД не соответствует реальной тяге ВРД, всегда на 3-7% меньше.

5. Анализ формулы тяги ВРД по уравнению (1.41), [3, с.46 ], показывает, что к слагаемой части  $G_c(C_c - V_n)$ , которая является импульсом силы тяги с размерностью кГс, прибавляется второе слагаемое  $(P_c - P_n)F_c$  с размерностью кГ. Такая смесь размерностей в одном выражении в науке не допускается.

6. Согласно формуле полетного (тягового) КПД, [3, с.50, уравнение (1.51) ], при  $V_n = C_c$  полетный (тяговый) КПД любого ВРД достигает 100%, а при  $V_n > C_c$  полетный (тяговый) КПД

превышает 100%, что является прямым нарушением Закона сохранения энергии, поскольку ни в природе, ни в технике не существует такого КПД.

Все это говорит о том, что выведенные академиком В.С.Стечкиным в 1929 году формулы тяги полетного (тягового) КПД являются ошибочными, поскольку

нарушают все законы механики истечения жидкостей и газов, и не могут быть фундаментальными для современной теории воздушно-реактивных двигателей.

***Краткий критический обзор состояния теории и проектирования воздушно-реактивных двигателей на современном этапе. Постановка цели.***

Полное отсутствие в современной теории воздушно-реактивных двигателей фундаментальных формул тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, естественно, привело не только к ошибочному проектированию ВРД, но и к ошибочному описанию узловых физических явлений, имеющих место при работе ВРД.

Ошибочное проектирование ВРД на современном этапе связано с наличием следующих конструктивных ошибок:

1. Наличие кинематической зоны жесткого (упругого) удара в сечении В-В, [1 с. 18, рис. 1 ], которая является основой заглохания или неустойчивой работы ВРД при взлете, полете, посадке.

2. Очень низкий КПД второго контура современных ТРДД, равный 12%, по сравнению с первым контуром, КПД которого составляет 60%, что влечет за собой повышенный расход топлива и низкие экологические и технико-экономические показатели современных ТРДД.

3. Полное отсутствие закона регулирования по максимальной тяге на любом режиме работы согласно формулам тяги (6), (7), (8), (9), [1 с. 18-19 ].

4. И другие конструктивные ошибки.

Заметим, что если уже созданная единая теория движителей на непрерывных потоках указывает на эти конструктивные ошибки современных ВРД, то это означает, что все ВРД, созданные на основе единой теории движителей на непрерывных потоках, полностью лишены этих конструктивных недостатков.

К ошибочным описаниям современной теорией ВРД узловых физических явлений, имеющих место при работе ВРД, относятся:

1. Ошибочно разработан термодинамический цикл ТРД в координатах P-V, T-S, который является фундаментом теории.

Это означает, что в современной теории ВРД ошибочно описаны принципы работы ТРД, ТРДД, ТРДФ и др., это означает, что все физические процессы, имеющие место при работе ВРД, описаны или неточно или ошибочно.

Преподавание такого ошибочного термодинамического цикла студентам авиационных ВУЗов вот уже 83 года ведется в нулевом, с точки зрения науки, знаний, варианте, поскольку существующий в современной теории ВРД термодинамический цикл ТРД в координатах P-V, T-S содержит в себе следующие ошибки:

1.1. Газовый поток в зоне Н-В по сечениям воздухозаборника В-В и d-d разорван, поскольку невозможно поставить знак равенства между расходом газового потока по сечениям d-d (вход) и В-В (выход) воздухозаборника, т.к.  $G_B \gg G_d$ , что свидетельствует о нарушении всех, без исключения, законов механики истечения жидкостей и газов, включая закон неразрывности струи.

1.2. При инжектировании газового потока в зоне Н-В под действием градиента статических давлений, направленного за потоком при  $V_n > 0$ , температура газового потока на выходе из воздухозаборника  $T_B$  до  $V_n = 0,6 \text{ Мп}$  всегда уменьшается согласно единой теории движителей на непрерывных потоках, на существующем термодинамическом цикле в координатах P-V, T-S, разработанным современной

теорией ВРД, все происходит наоборот, что свидетельствует о нарушении принципа инжекции газового потока при  $V_n > 0$  и всех законов термодинамики.

1.3. При наличии ошибочного градиента статических давлений в зоне Н-В, направленного против потока, разрыв струи газового потока согласно п.1 приводит к нарушению закона сохранения энергии, который гласит, что полная энергия газового потока на входе в воздухозаборник, сечение d-d, всегда равна полной энергии газового потока на выходе из воздухозаборника, сечение В-В. Поскольку  $G_B \gg G_d$ , то невозможно поставить знак равенства между полной энергией газового потока в сечениях d-d и В-В, поскольку полная энергия газового потока в сечении В-В существенно больше полной энергии газового потока в сечении d-d, что нарушает баланс энергии, все законы термодинамики, уравнение Бернулли. Необходимо отметить, что генерирование градиента статических давлений, направленного против потока, возможно только при движении газового потока в заневоленном состоянии, например, в компрессоре, а при свободном набегании газового потока (воздуха) на двигатель при  $V_n > 0$  всегда перед двигателем генерируется параболоидная зона заторможенного потока с градиентом статических давлений, направленным по потоку, [5, с.26, рис 1.6], [3, с.82].

2. Ошибочно описываются теоретические и физические основы такого фундаментального понятия, как процесс генерирования тяги ВРД. На протяжении последних 83 лет этот учебный материал по дисциплине ТОВРД преподносится студентам авиационных ВУЗов в нулевом, с точки зрения науки, знаний, варианте.

3. Ошибочно описываются теоретические и физические основы такого фундаментального понятия, как полетный (тяговый) КПД ВРД.

4. Ошибочно описываются теоретические и физические основы такого фундаментального понятия, как процесс генерирования подъемной силы продуваемым профилем.

5. Ошибочно дается трактовка понятия  $F_H$  и все, что связано с этим понятием.

6. Полностью отсутствует снятие характеристик компрессоров ВРД при дросселировании газового потока перед компрессором. Это связано с тем, что при взлете, полете, посадке перед любым ВРД всегда генерируется зона заторможенного потока Н-f, которая дросселирует (тормозит) поступление газового потока в двигатель, что неизбежно приводит к снижению статичности в сечении В-В с одновременным увеличением  $C_a$  выше расчетного значения, что приводит к развитому срыву газового потока по корытцам лопаток первого рабочего колеса компрессора, к снижению безопасности полетов, [5].

7. Полностью отсутствует кинематический анализ, что делает современную теорию ВРД неспособной наметить правильные пути технического прогресса в области авиадвигателестроения при  $T_2^* = \text{const}$ .

8. Ошибочно описывается процесс торможения газового потока в реальном входном устройстве.

9. Ошибочно описывается процесс работы ТРД, ТРДД, ТРДФ и др. ВРД.

10. Ошибочно описываются физические основы процесса генерирования отрывных течений по корытцам и спинкам лопаток рабочих колес компрессоров, приводящих к заглоханию, неустойчивой работе ВРД, к флаттеру самолета при взлете, полете и посадке.

11. И другие ошибочные описания, согласно которым современная теория воздушно-реактивных двигателей подлежит полной переработке на основе уже

созданной единой теории движителей на непрерывных потоках, и только после этого такая переработанная теория воздушно-реактивных двигателей может быть заложена в курс ТОВРД и преподаваться студентам в авиационных ВУЗах.

### **Общие выводы, перспективы дальнейших разработок.**

Кризис современной теории воздушно-реактивных двигателей основывается не только на неправильном понимании и применении уравнения Эйлера, этот кризис основывается еще и на полном отсутствии фундаментальных формул тяги, полетного (тягового) КПД ВРД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля.

Существующие в современной теории ВРД ошибочные фундаментальные формулы тяги, полетного (тягового) КПД, выведенные академиком Б.С.Стечкиным в 1929 г., и такая же ошибочная фундаментальная теорема о подъемной силе продуваемого профиля, выведенная профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г., не только задержали технический прогресс в области авиадвигателестроения более чем на 80 лет, но и лежат у истоков тысяч авиационных катастроф по причине заглохания или неустойчивой работы ВРД при взлете, полете, посадке, нанесли большой материально-технический ущерб любому государству, производящему самолеты.

В результате ошибочного описания ряда физических процессов, имеющих место при работе ВРД, современная теория воздушно-реактивных двигателей оказалась неспособной дать правильные направления технического прогресса в области авиадвигателестроения при  $T_c^* = \text{const}$  (при постоянной температуре газового потока перед первым сопловым аппаратом турбины), связанные с заменой характера движения частиц газового потока в зоне Н-В с нарастающим ускорением, что имеет место во всех современных ВРД, на синусоидальный, с нулевым или уменьшающимся ускорением газового потока в сечении В-В, что полностью устраняет кинематическую зону жесткого (упругого) удара в этом же сечении, существенно повышает газодинамическую устойчивость работы ВРД, повышает КПД двигателя, [6, с. 124-134].

При этом следует отметить, что правильные направления технического прогресса в области авиадвигателестроения специалисты могут разработать только с позиций уже созданной единой теории движителей на непрерывных потоках, в которую в обязательном порядке входит вывод формулы тяги воздушно-реактивного двигателя по внешним и внутренним параметрам газового потока, проходящего через движитель.

Вывод формулы тяги ВРД по внутренним параметрам приводится в [1, с. 15-20, формулы(6),(7).] Вывод формулы тяги ВРД по внешним параметрам в [1] отсутствует, хотя конечные формулы тяги (8) и (9) приводятся, [1, с. 19].

Поэтому уже созданная единая теория движителей на непрерывных потоках ставила своей целью (заданием) решить ту же самую задачу, которую в 1929 г. академик Б.С.Стечкин не смог решить в своей статье «Теория воздушно-реактивного двигателя», и на более высоком научном уровне, при правильном применении уравнения Эйлера, вывести формулы тяги, полетного (тягового) КПД воздушно-реактивного двигателя по внешним параметрам при  $V_n \geq 0$ , которые будут являться фундаментальными, которые будут полностью соответствовать всем законам механики истечения жидкостей и газов и экспериментальным данным современной теории воздушно-реактивных двигателей, что будет рассмотрено в следующей статье.

**Список литературы:** 1. Мамедов Б. Ш. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД турбореактивных двигателей [Текст] / Б. Ш. Мамедов/ Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – Харьков: изд. Технологический центр. Прикладная механика, 4/7 (52), 2011, с. 15-20. 2. Мамедов Б. Ш. Глава 2. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как движителя [Текст] / Б. Ш. Мамедов/ Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях, – Харків: НТУ «ХПІ», 2011г. – №33, – с.146-153. 3. Шляхтенко С. М. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей [Текст] /С. М. Шляхтенко/ –М.Машиностроение, 1987 г., – 568 с. 4. Казанджан П. К. Теория авиационных двигателей [Текст] /П. К. Казанджан, Н. Д. Тихонов, А. К. Янко/ – М.: Машиностроение, 1983, – 223 с. 5. Мамедов Б. Ш. Глава 3. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Причины заглохания воздушно-реактивных двигателей при взлете, полете и посадке [Текст] /Б. Ш. Мамедов/ Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – Харьков: изд. Технологический центр. Прикладная механика, 4/7 (53), 2011, с.24-28. 6. Мамедов Б. Ш. Глава 4. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках.. Разработка направления технического прогресса в области авиадвигателестроения, связанного с повышением газодинамической устойчивости работы воздушно-реактивных двигателей при взлете, полете и посадке. [Текст] / Б. Ш. Мамедов/ Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях, –Харків: НТУ «ХПІ», 2011г. – №34, – с.124-134.

*Надійшла до редколегії 20.02.2013*

**УДК 629.7.036.001**

**Краткий анализ состояния теории и проектирования воздушно-реактивных двигателей на современном этапе / Б. Ш. Мамедов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 3-15. – Бібліогр.: 6 назв.**

Розглядаються недоліки сучасної теорії повітря-реактивних двигунів, пов'язані з помилковою фундаментальною теоремою о підйомній силі продуваемого профілю, виведеною професором М.Є.Жуковським у 1912 році, та помилковими фундаментальними формулами тяги, польотного (тягового) ККД, розрахованими академіком Б.С.Стечкиним у 1929 році.

**Ключові слова:** продуваемий профіль, кінематичний аналіз, тяга продуваемого профілю, підйомна сила

Are considered the drawbacks of modern theory of air-jet engines, which are connected with mistaken fundamental theorem of the raising force of blowing profile, calculated by Professor N.E.Zhukovsky in 1912 year, with mistaken fundamental formulars of thrust and flying (thrust) efficiency, calculated by Academician B.S.Stechkin un 1929 year.

**Keywords:** blowing profile, kinematical analyse, the thrust of blowing profile, raising force.

**УДК 621.891**

**С. М. ПОПОВ**, д-р філос. наук, проф., ЗНТУ, Запоріжжя

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИТАНУ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВУГЛЕЦЕВОХРОМИСТИХ СПЛАВІВ ПРИ УДАРНО-АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННІ**

У статті представлені дослідження підвищення зносостійкості і ударостійкості високоуглеродохромистих сплавів. Запропоновано і проведено алгоритм аналізу комплексного впливу титану на фізико-механічні і енергетичні параметри. Проведено математичне планування експерименту та отримана нелінійна система рівнянь впливу вмісту титану в сплаві на твердість HRC і загальну енергію руйнування  $N_u$ .

**Ключові слова:** структура, фаза, подрібнення, зносостійкість, регресія.

© С. М. ПОПОВ, 2013

## **Вступ**

Науковий напрямок пов'язаний з вивченням питань здатності високовуглецевохромистих (2,8% С, 15% Cr) сплавів протистояти зношуванню та підвищенню експлуатаційної сприйнятливості, в умовах значних ударних навантажень (1000Дж) при взаємодії з абразивними матеріалами, що мають високу міцність ( $\sigma_{ст}=8-12$ ГПа) і твердість (за Маосом до 9,5), є досить складною і актуальною проблемою.

По перше, це пов'язано з тим, що загальна енергія руйнування робочих органів механізмів, що подрібнюють визначається як сума питомих енергій, яка іде на руйнування одиниці об'єму породи. Чим нижче значення питомої енергії, тим ефективніше процес руйнування гірської породи та тим більша зносостійкість та термін експлуатації деталей. Тому завдання вивчити явища передачі і розсіювання енергії при взаємодії робочого інструмента з абразивними матеріалами є актуальною.

## **Аналіз літературних джерел**

Літературний аналіз даних показав, що підвищення зносостійкості деталей обладнання, що меле, і безпосередньо контактує з гірськими породами, досягається за рахунок отримання в структурі сплаву зміцнюючої фази (карбідів, нітридів, інтерметалідів та інш.), що має високу мікротвердість, але наявність яких, в свою чергу, різко знижує пластичні властивості сплаву в цілому [1-4].

Домогтися підвищення ударостійкості можливо різними шляхами, наприклад термічною обробкою, легуванням і іншими методами, що забезпечують збільшення пластичності, внаслідок зміни структурного стану основи матеріалу. Але вказані методи зазвичай призводять до зниження агрегатної твердості поверхневого шару і відповідно зносостійкості робочих тіл [5-7].

Важливим моментом в одночасному підвищенні зносостійкості та ударостійкості матеріалу є здатність сплаву до самозміцнення внаслідок  $\gamma \rightarrow \alpha$  перетворень. З одного боку це дозволяє мати в'язку і досить пластичну аустенітну матрицю, а з іншої – досить зносостійкий мартенсит деформації, що утворюється в процесі контактної взаємодії [1]. В той же час, існуючі експлуатаційні вимоги (низькі магнітні властивості аустеніту) не завжди дозволяють використовувати цей важливий резерв у зниженні крихкості сталей і сплавів.

На наш погляд найбільш раціональним методом підвищення ударостійкості при збереженні високої зносостійкості в умовах інтенсивного абразивного зношування з ударними навантаженнями є оптимальне поєднання структури, типу і морфології твердих зміцнюючих включень, отриманих при модифікуванні сплавів.

## **Мета роботи**

Метою даної роботи є дослідження впливу фізико-механічних властивостей та структурно-фазового стану стопів на енергетичні процеси, що відбуваються в умовах ударноабразивного зношування робочих інструментів та органів. На підставі аналізу даних цього дослідження прогнозується отримати комплексну систему математичних рівнянь впливу титану на твердість та комплексного показника загальної енергії руйнування.

## **Матеріали досліджень**

Апріорі показує, що перспективним елементом, здатним зробити якісну зміну структури і властивостей залізобуглецевих сплавів при легуванні є титан [5-7]. Крім цього економічна доцільність використання титану в умовах української промисловості пояснюється, по-перше, наявністю його вторинних запасів на території країни, по-друге, порівняно невеликою вартістю, що робить його доступним



порівняно з іншими легуючими елементами подібного класу. Так при використанні титану порядку (0,1...0,3%) вартість литого сплаву підвищується не більш ніж на 2%.

На сьогоднішній день опубліковано достатню кількість робіт, згідно яким титан в певній кількості сприяє подрібненню структури сплавів, що в свою чергу позитивно позначається на службових властивостях виробів.

Ефективність використання титану випробувано авторами на литих кулях, що мелють, діаметром 100мм за методикою [4]. З метою створення математичної моделі у вигляді нелінійної парної регресії було проведено планування експерименту впливу вмісту титану у сплаві на твердість HRC та кількість ударів  $N_y$  до руйнування кулі.

Для вирішення цієї задачі обрано ступеневий вид функції, тому що вона дозволяє найкращим чином простежити залежність даних факторів та виявити взаємну комплексну залежність. Тож загальний вид функції можна записати у вигляді:

$$y = a \cdot x^b, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$  – вибіркові коефіцієнти регресії

Результати проведених експериментів наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Результати експериментів дослідження сплаву 280X15Г4 з різним вмістом титану

Ti	HRC				$N_y$			
	1	2	3	сер	1	2	3	сер
0,05	57	58	56	57	17	17,1	16,9	17
0,10	58	57,5	58,5	58	19	19,3	18,7	19
0,15	58,5	59	58	58,5	22	22,1	21,9	22
0,20	59	59,2	58,8	59	23	23,3	22,7	23
0,25	59,5	59,3	59,7	59,5	23	23,2	22,8	23
0,30	59,7	59,2	60,2	59,7	22	22,1	21,9	22
0,35	58	59	57	58	21	21,2	20,8	21
0,40	58	57	59	58	18	17,8	18,2	18

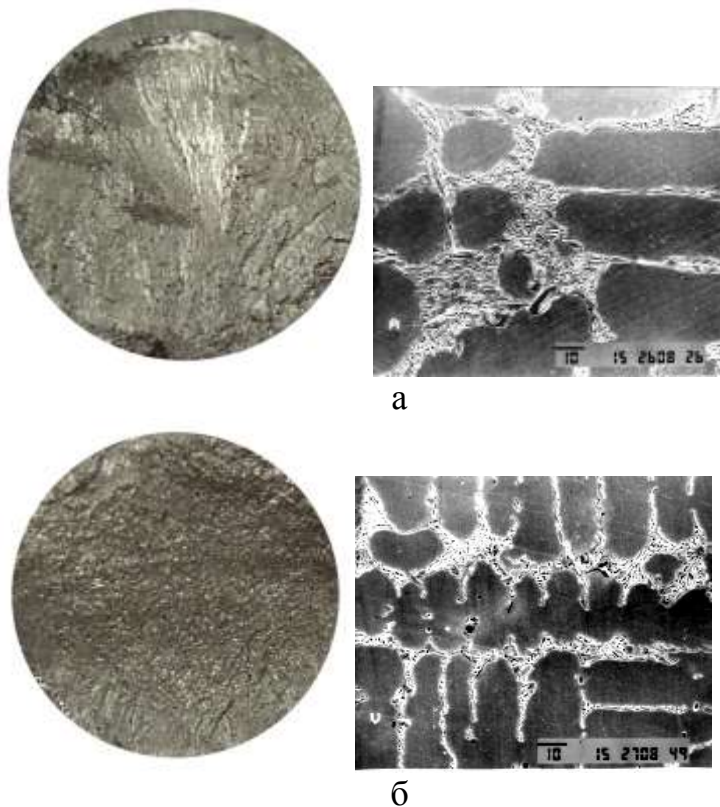


Рис. – Макроструктура та мікроструктура  $\times 500$  сплаву 280X15Г4 з різним вмістом (а – 0,01%Ti; б – 0,1%Ti;)

Після обробки експериментальних даних, була отримана система рівнянь регресії:

$$\begin{cases} HRC = 59,68 \cdot Ti^{0,0124} \\ N_y = 23,35 \cdot Ti^{0,0779} \end{cases} \quad (2)$$

Коефіцієнти були перевірені за стандартними критеріями. Результати статистичної перевірки наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати статистичної перевірки рівнянь регресії

Для рівняння	Критерій Кохрена		Критерій Фішера		Довірчий інтервал $\pm \Delta b_{ij}$	Дисперсія	
	$G_p$ розр	$G_T$ табл	$F_p$ розр	$F_T$ табл		Адекватності, $S_{ад}^2$	Відтворюваності, $S_v^2$
HRC	0,26	0,68	2,81	5,32	0,53	1,50	0,535
$N_y$	0,28	0,68	1,71	5,32	0,02	0,07	0,042

Аналіз отриманих системи залежностей показав, що збільшення вмісту титану (у всьому діапазоні модифікування від 0,1% до 0,5%) викликає збільшення агрегатної твердості металу. На наш погляд це можна зв'язати зі збільшенням кількості твердої фази за рахунок утворення карбідів і нітридів титану. В той же час самоутворення даних включень викликає значну зміну структурно-фазового стану, наслідком якого є помітне подрібнення структурних складових. Залежність ударостійкості від кількості модифікатора (Ti) має помітний оптимум в межах 0,1-0,3%Ti. Механізм впливу титану на зниження крихкості при ударній взаємодії складний і потребує цілого комплексу подальших напрямлених досліджень. Однак вірогідні оцінки цього процесу з певним ступенем надійності можна базувати на впливі швидкості кристалізації сплаву, яка задається двома взаємопов'язаними параметрами – числом центрів кристалізації та швидкістю зросту структурних складових, обумовленою взаємодією модифікаторів I<sup>го</sup> роду AlN и II<sup>го</sup> роду TiC. Важливе значення такий вплив титану отримує для зносостійких сплавів, в структурі яких є значна кількість (до 50%) евтектичних і заевтектичних первинних карбідів, силіцидів, інтерметалідів і інших твердих включень. Ці сплави, як правило, схильні до утворення грубої транскристалітної структури і крихкого руйнування при ударних навантаженнях.

### Висновки

Виходячи з проведених досліджень, можна наголосити, що характеристики зносу і механізми перетворення енергії робочих органів мають суттєвий вплив на продуктивність процесу різання породи. При цьому, головним чинником при ударно-абразивному зношуванні є енергія удару, а не твердість, оскільки зростання силового показника властивостей металу (твердості) не свідчить про підвищення зносостійкості. Загальна енергія впливу абразивних частинок при зношуванні, поглинена металом, витрачається на пружну і пластичну деформацію, а також його руйнування.

Аналіз даної роботи дозволив отримати комплексну систему математичних рівнянь впливу титану на твердість та комплексного показника загальної енергії руйнування. Оптимізація математичних рівнянь довели можливість збільшення ударостійкості сплавів за рахунок оптимізації морфології структурно-фазового стану високовуглецевохромистого чавуну шляхом модифікування. Встановлено, що оптимальний вміст титану в чавуні складає 0,1-0,3%.

**Список літератури:** 1. Попов С. М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні / С. М. Попов, Д. А. Антонюк, В. В. Нетребко. – Запоріжжя: ЗНТУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с. 2. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин / М. М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1976. – 247 с. 3. Попов С. Н. Исследование условий характера разрушения сопряженных поверхностей деталей машин при заклинивании и дроблении абразива / С. Н. Попов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2000. – №1 – С.35-39. 4. Капустин М. А. Повышение ударостойкости износостойких высокоуглеродистых сплавов путем изменения морфологии упрочняющей фазы при модифицировании / М. А. Капустин, С. Н. Попов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2000. – №2. – С.31-33. 5. Цыпин И. И. Новый абразивно-коррозионностойкий белый чугун / Цыпин И. И., Гарбер И. Б., Михайловская С. С. // Литейное производство. – 1972. – №4. – С. 3-4 6. Хромистый чугун для валков горячей прокатки / [Скобло Т. С., Вишнякова Е. И., Мажарова Н. И. и др.] Литейное производство. – 1985. – №6. – С.6-7. 7. Попов С. Н. Микрорентгеноспектральные и структурно-фазовые исследования Fe-C-Ti-V износостойких наплавочных сплавов / Попов С. Н., Антонюк Д. А., Редька Н. А. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 2(19). – С. 229-234.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

#### УДК 621.891

**Дослідження впливу титану на зносостійкість вуглецевохромистих сплавів при ударно-абразивному зношуванні / С. М. Попов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 15-19. – Бібліогр.: 7 назв.**

В статье представлены исследования повышения износостойкости и ударостойкости высокоуглеродистых сплавов. Предложен и проведен алгоритм анализа комплексного влияния титана на физико-механические и энергетические параметры. Проведено математическое планирование эксперимента и получена нелинейная система уравнений влияния содержания титана в сплаве на твердость HRC и общую энергию разрушения  $N_u$ .

**Ключевые слова:** структура, фаза, дробление, износостойкость, регрессия.

The paper presents the study of increasing wear resistance and impact resistance highest carbon chromium alloys. Proposed and performed the analysis algorithm combined effect of titanium on the physical, mechanical and energy parameters. The mathematical design of experiments and the nonlinear system of equations is the influence of the titanium content in the alloy hardness HRC and the total energy of destruction  $N_u$ .

**Keywords:** structure, phase, crushing, wearproofness, regression.

#### УДК 621.83

**Т. А. ВАСИЛЬЧЕНКО**, ассистент, ЗГИА, Запорожье

#### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНОГО ПРИВОДА КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ**

Представлено описание экспериментальной установки для исследования нестационарных процессов включения и останковки планетарного привода. Приведены типовые осциллограммы, полученные во время эксперимента и результаты статистической обработки экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** планетарный привод, экспериментальная установка, тормозной момент

**Введение.** В отечественном и зарубежном прессостроении все большее распространения получают пресса с планетарной системой включения, обладающей определенными преимуществами наряду с традиционными системами включения, однако в литературных источниках практически полностью отсутствуют данные по

© Т. А. ВАСИЛЬЧЕНКО, 2013

анализу и синтезу данных систем. В работах [1-3] были рассмотрены вопросы построения динамической и математической моделей планетарного привода, а также предложена методика расчета его основных энергодинамических параметров. Проведение экспериментальных исследований является необходимым этапом, служащим для подтверждения теоретических выкладок и расчетов, правильности принятых допущений и предпосылок.

**Проблемы и пути ее решения.** Для изучения поставленной проблемы, была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, представляющая собой модель планетарного привода кривошипного пресса усилием 400 кН.

Общий вид установки приведен на рис.1. Конструктивно установка выполнена в виде отдельного блока 1, установленного на плите 2, которая, в свою очередь, скреплена на раме 3, служащей основанием. Привод осуществляется от электродвигателя 4 через клиноременную передачу 5. Фрикционный узел включения функционирует за счет сжатого воздуха, который подается через ресивер 6 в систему пневматического управления, расположенную в шкафу 7.

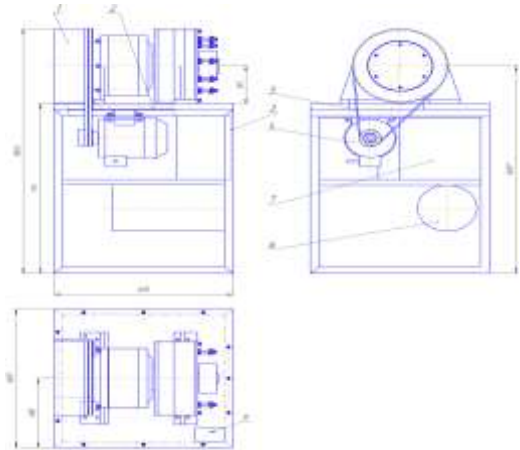


Рис. 1 - Общий вид экспериментальной установки

Основной блок установки представляет собой ведущую часть установки, планетарный редуктор и фрикционный узел включения.

Схема основного силового блока установки представлена на рис. 2. Основной целью создания установки являлось исследование нестационарных процессов включения и остановки привода, поэтому функционально установка выполнена в виде модели привода кривошипного пресса с планетарным приводом. На выходном валу силового блока установлен дополнительный маховик 14, имитирующий ведомые части главного исполнительного механизма пресса.

Маховик 1 установлен на самоустанавливающихся шариковых двухрядных подшипниках в корпусе 2. Через промежуточную зубчатую муфту он соединен с ведущим валом 4, входящим в зацепление с тремя сателлитами 5, установленными на осях 6. сателлиты 5 входят во внутреннее зацепление с наружной шестерней 7, установленной в корпусе также на самоустанавливающихся подшипниках. Оси сателлитов неподвижно установлены в водиле 8, которое одним концом установлено в корпусе редуктора, а вторым концом установлено в корпусе пневматического цилиндра 12.

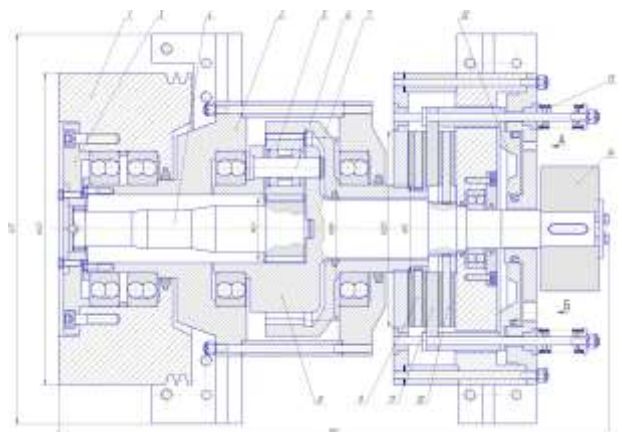


Рис. 2 - Основной силовой блок

Вал наружной шестерни и водило через шлицевые соединения связаны с дисками торможения шестерни 9 и диском торможения водила 10. торможение этих дисков производится за счет сил трения на поверхности контакта дисков с промежуточным нажимным диском 11, который перемещается за счет сжатого воздуха в пневматическом цилиндре 12 или возвратных пружин 13. Подача сжатого

воздуха в цилиндр производится через отверстие *Б*, а измерение давления воздуха производится через канал *А*.

Все основные элементы планетарного редуктора установлены на самоустанавливающихся подшипниках, что значительно снижает требования по точности изготовления опор, зубчатых зацеплений, монтажа и др. Ведущий вал 4 привода не имеет опор, а опирается на маховик 1 и уравнивается сателлитами 5. Наружная шестерня 7 имеет только одну опору и также уравнивается сателлитами.

Фрикционный узел включения выполнен в виде двух дисковых фрикционных тормозов с общим приводом и общим нажимным диском. Тормозной диск 10 водила служит для остановки привода пресса после совершения рабочего хода. Величина тормозного момента определяется кинетической энергией останавливаемых масс и величиной требуемого угла торможения. В тоже время тормозной диск 9 наружной шестерни служит для остановки шестерни при включении привода для совершения рабочего хода и для ее удержания при совершении технологического нагружения. Для обеспечения максимально большего значения тормозного момента при включении перед тормозным моментом при остановке привода предусмотрено включение тормоза водила с помощью тормозных пружин 13, а включение тормоза наружной шестерни за счет давления сжатого воздуха. В итоге при одинаковых размерах тормозных дисков осевое усилие на диск шестерни со стороны пневматического цилиндра значительно больше суммарного усилия возвратных пружин.

Основными параметрами, которые определяют технические характеристики привода, являются: угловые скорости основных звеньев планетарного механизма; крутящий момент на фрикционном контакте; расход энергии на включение и остановку привода, а также время включения и остановки.

Исходя из особенностей конструкции опытной установки, производилось измерение углов поворота ведущего маховика и водила, конструктивно связанного с главным валом пресса.

Величина крутящего момента на фрикционном контакте косвенно оценивалась по величине давления сжатого воздуха в пневматическом цилиндре и по усилию затяжки тормозных пружин.

Расход энергии на включение и остановку оценивался по величине мгновенной мощности, развиваемой электродвигателем в течение процессов включения и остановки. Измерялся ток в одной из обмоток двигателя и после перерасчета мгновенной мощности, производилось численное интегрирование с целью определения работы за время включения или остановки.

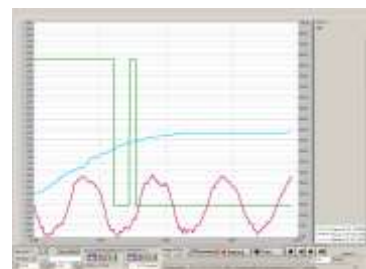
Производилась вариация давления сжатого воздуха в пневматическом цилиндре тормозного узла, изменялся расход воздуха в пневматической системе управления цилиндром, изменялась величина наибольшего тормозного момента. Изменение давления сжатого воздуха от 0,2 до 0,4 МПа производилось с помощью пневматического редуктора на входной магистрали сжатого воздуха и приводило к пропорциональному изменению максимального тормозного момента тормоза включения. Изменение расхода сжатого воздуха от 25 до 3 л/мин производилось пневматическим дросселем в магистрали питания пневматического цилиндра. Изменение максимального тормозного момента тормоза остановки производилось путем изменения усилия затяжки тормозных пружин. При номинальном усилии затяжки одной пружины во включенном состоянии тормоза 110 Н и жесткости

пружины 5,5 Н/мм изменение затяжки на  $\pm 5$  мм приводит к изменению тормозного момента на  $\pm 25$  %.

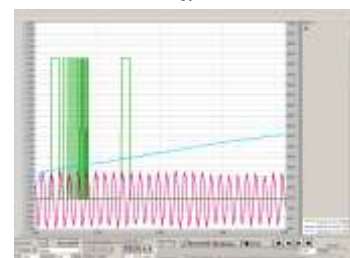
На последующих рисунках приведены типовые осциллограммы, полученные во время экспериментов. На рис. 3 приведена осциллограмма процесса включения привода. При закрытом дросселе входного трубопровода (минимальный расход воздуха) резко увеличиваются все периоды движения поршня и нарастания давления. В итоге время до начала движения водила увеличивается примерно в 2,5...3 раза, интенсивность включения резко снижается. Анализ процессов нарастания давления в включении тормоза и не воздуха и интенсивности разгона водила показывают, что величина коэффициента интенсивности включения тормоза должна равняться не более 0,2...0,3 при более 0,1...0,15 при его выключении. Для тормозов с жесткой блокировкой, как это выполнено в фрикционном узле экспериментальной установки, при включении привода величина тормозного момента тормоза остановки должна приниматься равной нулю.

На рис. 4 приведены осциллограммы изменения давления воздуха в полости тормозного узла при максимальном и минимальном расходе сжатого воздуха. Выделяется момент времени, когда давление воздуха достигает значения примерно 0,1 МПа (соответствует 1,4...1,6 делений вертикальной оси на осциллограмме), соответствующего началу контакта фрикционных поверхностей нажимного диска и диска тормоза включения. После этого давление воздуха продолжает возрастать до максимального значения. Рис. 4,б подтверждает правомочность аппроксимации изменения тормозного момента показательной зависимостью. Из рисунка следует, что давление воздуха достигает максимального значения при  $t = 1$  с. При других значениях коэффициента время достижения максимального тормозного момента уменьшается пропорционально величине  $t^2$  (рис. 4,а).

При остановке привода, когда происходит включение тормоза остановки за счет тормозных пружин, величина расхода воздуха практически не влияет на длительность процесса торможения (рис. 5). При уменьшенном расходе увеличивается время опорожнения полости пневматического цилиндра и момент начала остановки водила наступает позже. Длительность процесса остановки после начала затормаживания водила практически не изменяется.

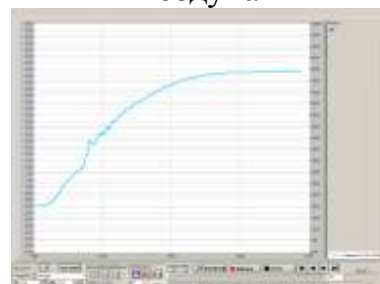


а

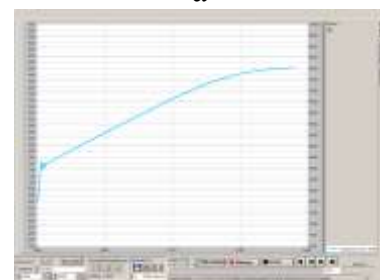


б

Рис. 3 - Осциллограмма процесса включения привода: а - при максимальном расходе воздуха; б - при минимальном расходе воздуха



а



б

Рис. 4 - Осциллограмма изменения давления воздуха: а - при максимальном расходе воздуха; б - при минимальном расходе воздуха

На рис. 6 приведены осциллограммы процесса включения при затяжке пружин на 16 мм и 10 мм, что соответствует максимальному тормозному моменту соответственно 48 Нм и 30 Нм. Из рис. 6,а следует, что угол и время торможения увеличились примерно в 2 раза, а из рис. 6,б следует, что тормозной момент недостаточный для надежного торможения и удержания водила.

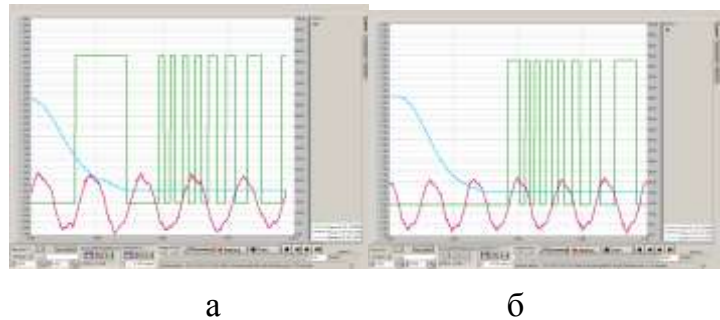


Рис. 5 - Осциллограмма процесса выключения привода: а - при максимальном расходе воздуха; б - при минимально расходе воздуха

После исключения случайных измерений выполнена математическая обработка полученных результатов. Общие число измерений в каждой серии опытов  $n = 16$ , число серий –  $m=3$ , доверительная вероятность  $P = 0,95$ . При таких параметрах коэффициент Стьюдента равен 2,145, оценка среднеквадратичного

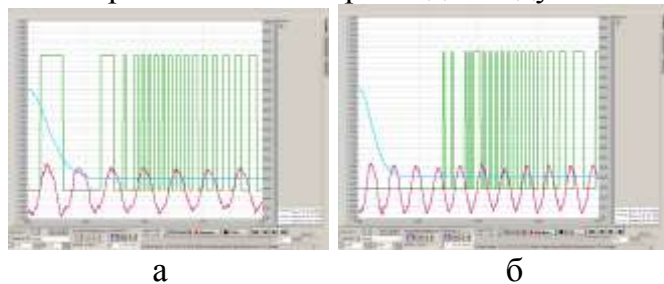


Рис. 6 - Осциллограмма процесса остановки привода: а - при тормозном моменте 48Нм; б - при тормозном моменте 30 Нм

отклонения результатов измерений времени  $t_s$  торможения  $S(A) = 0,3876 \cdot 10^{-4}$ , тогда доверительные границы случайной погрешности равны  $\varepsilon_t = \pm 0,8314 \cdot 10^{-5}$ . Оценка среднеквадратичного отклонения результатов измерения углов торможения  $\varphi_{ht} S(A) = 0,31$ , следовательно, доверительные границы случайной погрешности равны  $\varepsilon_{ht} = \pm 0,664$ . Смещенная оценка среднего квадратичного отклонения  $S^*$  равна  $1,501 \cdot 10^{-3}$ , а составной критерий  $d = 0,75981$ . При измерении угла торможения водила смещенная оценка среднего квадратичного отклонения  $S^*$  равна  $1,199 \cdot 10^{-3}$ , а составной критерий  $d = 0,86012$ . Согласно ГОСТ 8.207–76 предельные квантили распределения соответственно равны  $d_1 = 0,7236$  и  $d_2 = 0,8884$ , то есть полученные квантили распределения результатов измерений лежат в диапазоне допустимых значений и результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению.

Критерий Кохрена при измерении времени торможения для максимальной дисперсии  $\max D_i = 9,44 \cdot 10^{-6}$  равен 0,53093 и при измерении угла торможения для максимальной дисперсии  $\max D_i = 2,018 \cdot 10^2$  равен  $K_{кр} = 0,35005$  соответственно, что не превышает теоретического значения  $K_{кр} = 0,55$  [4], следовательно эксперименты считаются воспроизводимыми.

Теоретический коэффициент Фишера  $K_{фт} = 2,4$  [4]. Для проведенных 3-х серий исследований получено  $D_a = 6,3194 \cdot 10^{-7}$ ,  $D_{ср} = 1,4987 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_{фэ} = 0,42166$ . Так как  $K_{фэ} < K_{фт}$ , теоретические результаты адекватны экспериментальным данным.

Таким образом, результаты обработки показывают достоверность экспериментальных данных.

### Выводы

Основные результаты экспериментальных исследований переходных процессов планетарного привода подтвердили правомочность теоретических предпосылок и математических зависимостей. Результаты наблюдений принадлежат нормальному

закону розподіленню. Експериментальні результати вважаються воспроизводимими, т. к. отримані значення критерію Кохрена менше теоретичного значення. Кінематичні та силові характеристики фізичної моделі механізму адекватні теоретичним розрахункам, що підтверджується критерієм Фішера.

**Список літератури:** 1. Явтушенко А. В. Динамічна модель планетарного привода кривошипних пресов / А. В. Явтушенко, А. В. Глебенко, Т. А. Васильченко, С. С. Видмич // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип.6 (59) частина 1. – С.44 – 48. 2. Явтушенко А. В. Математична модель планетарного привода кривошипних пресов / А. В. Явтушенко, Б. П. Серєда, Т. А. Васильченко, А. В. Глебенко // Вісник Національного технічного університету «КПІ». Серія машинобудування. – Київ: НТКПІ, 2010. – Вип. № 60 – С.200 – 203. 3. Явтушенко А. В. Приближений розрахунок основних енергодинамічних параметрів процесів включення та зупинки планетарного привода / А. В. Явтушенко, Б. П. Серєда, Т. А. Васильченко, А. В. Глебенко // Обробка металів тисненням. Збірник науц. трудов. – Краматорськ: ДГМА, 2010. – № 3(24). – С.175 – 179. 4. Румшинський Л. З. Математична обробка результатів експерименту / Л. З. Румшинський. – М.: Наука, 1971. – 191с.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

### УДК 621.83

**Експериментальні дослідження планетарного привода кривошипних пресов/ Т. А. Васильченко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 19-24. – Бібліогр.: 4 назв.

Представлено опис експериментальної установки для дослідження нестационарних процесів вмикання та зупинки планетарного привода. Наведено типові осцилограми, отримані під час експерименту та результати статистичної обробки експериментальних даних.

**Ключові слова:** планетарний привід, експериментальна установка, гальмівний момент.

Description of the experimental plant for the investigation of non-stationary processes starting and stopping of the planetary drive is presented. Gives typical oscillograms obtained during the experiment and the results of the statistical analysis of experimental data.

**Keywords:** planetary drive, experimental plant, braking moment

### УДК 629.463.001.63

**В. І. МОРОЗ**, д-р техн. наук, проф., УкрДАЗТ, Харків;

**О. В. ФОМІН**, канд. техн. наук, ДонІЗТ,

**О. В. БРАТЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц., УкрДАЗТ, Харків;

**В. В. ФОМІН**, інженер, ПрАТ «ДМЗ»

### ФОРМАЛІЗОВАНЕ ОПИСАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВІВ СУЧАСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПІВВАГОНІВ

В статті представлено особливості розробки та використання блочно-ієрархічного описання конструкції сучасних кузовів залізничних напіввагонів.

**Ключові слова:** напіввагони, проектування кузовів, формалізоване описання.

### Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень

Стійка робота транспортної системи будь-якої країни є найважливішою умовою її соціально-економічного розвитку. Процес перевезень сировини і готової продукції відіграє одну з головних ролей в ланцюзі матеріального виробництва. У транспортній системі нашої країни залізниці займають провідне місце, том у Транспортною стратегією України на період до 2020 року, яка була затверджена на

© В. І. МОРОЗ, О. В. ФОМІН, О. В. БРАТЧЕНКО, В. В. ФОМІН, 2013



засіданні КМУ 20 жовтня 2010 року одним із пріоритетних напрямків розвитку транспорту передбачено підвищення ефективності роботи залізничної галузі. При цьому одним із ключових напрямків вирішення зазначеної проблеми є оновлення рухомого складу залізниць вантажними вагонами з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників (ТЕЕП).

За оцінками фахівців [1, 2] на сьогодні найбільш гостро стоїть питання оновлення парку універсальних та спеціалізованих напіввагонів. На нинішній час цей парк в своїй більшості складається з вагонів які експлуатуються на грані призначеного терміну служби та моделей спроектованих за технологіями минулого сторіччя. З урахуванням зазначеного у вітчизняних наукових та виробничих транспортних організаціях активізуються науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, які спрямовані на створення вітчизняних конкурентоспроможних моделей напіввагонів з сучасним рівнем ТЕЕП. Слід зазначити і те, що на нинішній час активно проходить процес оновлення парків напіввагонів і в інших країнах де використовується мережа колії 1520мм. Це додатково підтверджує актуальність розроблення та виробництва їх вітчизняних конкурентоспроможних моделей, з метою задоволення таких потреб.

Розробка нових конкурентоспроможних моделей напіввагонів вимагає застосування сучасної методології вирішення проектно-конструкторських задач, яка передбачає використання системного підходу, адаптивних стратегій та методів оптимізаційного проектування. Проведення вищезазначених робіт передбачає створення та використання формалізованих описань (ФО) проектуємих конструкцій, яке слугує основою для розроблення та аналізу аналітичних залежностей досліджуваних параметрів вагонів, їх структурно-функціональних схем, та інш. Разом з тим ці питання не отримали достатнього висвітлення в профільній науково-технічній літературі.

#### **Мета статті та викладення основного матеріалу**

В статті представлений розроблений в Українській державній академії залізничного транспорту варіант формалізованого описання кузова сучасного напіввагону, яке здійснювалось на основі використання принципів ієрархічності і декомпозиції (блочності) [3, 4]. Наведено приклади його використання в науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах з поліпшення техніко-економічних та експлуатаційних показників універсальних та спеціалізованих напіввагонів.

Використання принципу ієрархічності передбачає структурування опису конструкції кузова напіввагону за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів. Застосування принципу декомпозиції забезпечує розділення відповідних описів на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків (конструкційних модулів) з можливостями їхнього роздільного проектування та дослідження. Вищезазначені принципи в повній мірі віддзеркалюються у блочно-ієрархічній моделі кузова залізничного напіввагону (найбільш часто представляється у вигляді відповідної схеми), є основою ФО його конструкції.

Загальні принципи та підходи до розроблення ФО конструкції залізничних вантажних вагонів викладені в роботі [4]. У відповідності до них ФО конструкції вагону передбачає виділення трьох ієрархічних рівнів. При цьому модуль кузова ( $B_{11}$ ) розглядається як елемент першого рівня, вузлові елементи якого належать до другого рівня, а елементи, які умовно не підлягають подальшому розділенню складають базові елементи третього рівня. З урахуванням того, що при створенні

нових напіввагонів модуль кузова слід розглядати як їх несучу систему [5, 6] виникла необхідність переходу до розроблення ФО його конструкції з виділенням не трьох а чотирьох ієрархічних рівнів (рис.1). Тобто вводиться додатковий (другий) рівень елементами якого є основні складові модуля кузова  $V_{11}$ : складова стін бокових та торцевих  $V_{111}$ , складова рами  $V_{112}$ , складова розвантажувального устаткування  $V_{113}$ . В свою чергу їх декомпозиційні елементи утворюють третій та четвертий ієрархічні рівні.

Для конкретизації викладення матеріалу з опису третього та четвертого ієрархічних рівнів далі представлено фрагменти блочно-ієрархічних схем

універсальних напіввагонів моделі 12-9745 та спеціалізованих напіввагонів моделі 20-9749 виробництва ДП «Укрспецвагон». Вони приймалися за основу при проведенні робіт зі зниження їх матеріалоемності.

На рис.2 представлено блочно-ієрархічну схему складової стін бокових та торцевих напіввагонів моделі 12-9745 з деталізацією вузла стіни торцевої. Як видно із рис.2 у якості укрупнених декомпозиційних елементів складової стін бокових та торцевих напіввагонів 12-9745 розглядаються – стіна бокова  $V_{1111}$ , стіна торцева  $V_{1112}$ , комплекс з'єднання (комплекс посилення та з'єднання стін бокових та торцевих)  $V_{1113}$ .

Представлений на рис.2 декомпозиційний склад (четвертий ієрархічний рівень) стіни торцевої  $V_{1112}$  включає п'ятнадцять наступних базових елементів:

обв'язування верхнє  $V_{11121}$ , кутник  $V_{11122}$ , бокова  $V_{11123}$  та вертикальна  $V_{11124}$  стійки, горизонтальний пояс  $V_{11125}$ , верхній лист обшиви  $V_{11126}$ , нижній лист обшиви  $V_{11127}$ , драбина  $V_{11128}$ , планка  $V_{11129}$ , державка  $V_{111210}$ , скоба  $V_{111211}$ , ребро  $V_{111212}$ , кільце у'в'язочне  $V_{111213}$ , косинець  $V_{111214}$ , ступінь внутрішня  $V_{111215}$ . В якості прикладу на рис.2 наведені отримані результати з визначення мас усіх базових елементів для стіни торцевої  $V_{1112}$ , а також маси вузла в цілому (740,6 кг). Аналогічна робота була проведена для усіх елементів блочно-ієрархічної схеми досліджуваного напіввагону. Це дозволило визначити масу елементів всіх ієрархічних рівнів, загальну масу напіввагону, провести аналіз структури матеріалоемності конструкції напіввагонів та спрямувати інженерний пошук на відповідні складові. Так для стіни торцевої були запропоновані патентозахищені

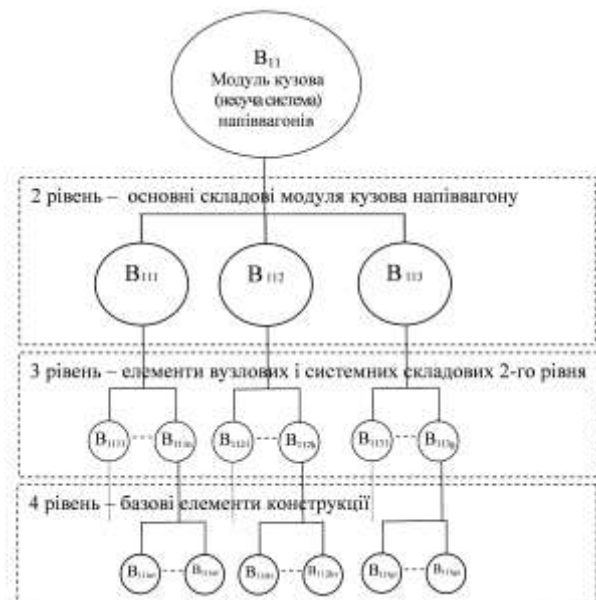


Рис.1 - Блочно-ієрархічна схема модуля кузова сучасного напіввагону

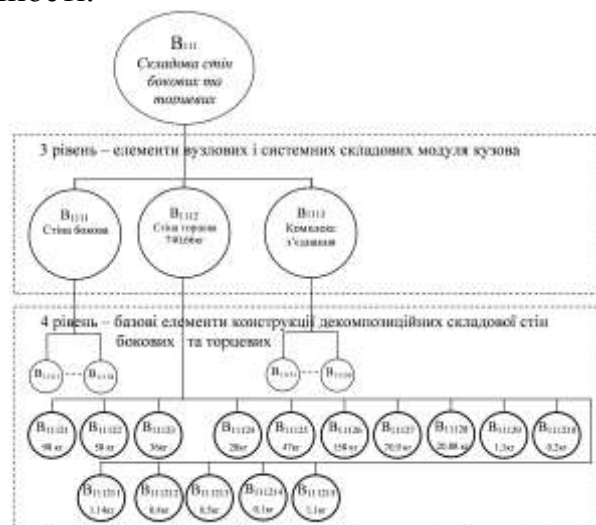


Рис. 2 - Блочно-ієрархічна схема складової стін бокових та торцевих напіввагонів моделі 12-9745

технічні рішення, в результаті впровадження яких знижено її масу на 100кг при забезпеченні умов міцності.

На рис.3 показано блочно-ієрархічну схему [7] складової рами  $V_{112}$  напіввагону-хоперу для гарячих окатишів та агломерату (окатишевозу) моделі 20-9749. Вона представлена на третьому ієрархічному рівні такими елементами: балка хребтова  $V_{1121}$ , балка шворнева  $V_{1122}$ , балка проміжна  $V_{1123}$ , балка кінцева  $V_{1124}$ , вузол бункера  $V_{1125}$ , до яких на четвертому рівні належать відповідні базові елементи. Наприклад на рис.3 деталізовано декомпозиційний склад шворневої балки  $V_{1122}$ . Він включає шість наступних базових елементів: лист вертикальний  $V_{11221}$ , лист шворневий верхній  $V_{11222}$ , лист шворневий нижній  $V_{11223}$ , діафрагма  $V_{11224}$ , планка  $V_{11225}$ , ковзун  $V_{11226}$ .

Розроблену блочно-ієрархічну схему було використано при проведенні оптимізаційних робіт зі зменшення тари окатишевозів. Для цього була розроблена математична модель формування матеріалоемності розглянутої конструкції окатишевозу [8]. Визначено складові елементи модуля кузова за рахунок модернізації яких доцільно знижувати загальну матеріалоемність конструкції. Наприклад завдяки поліпшенню вузла балки шворневої  $V_{1122}$ , було знижено загальну тару напіввагону більш ніж на 170 кг (забезпечує збільшення маси

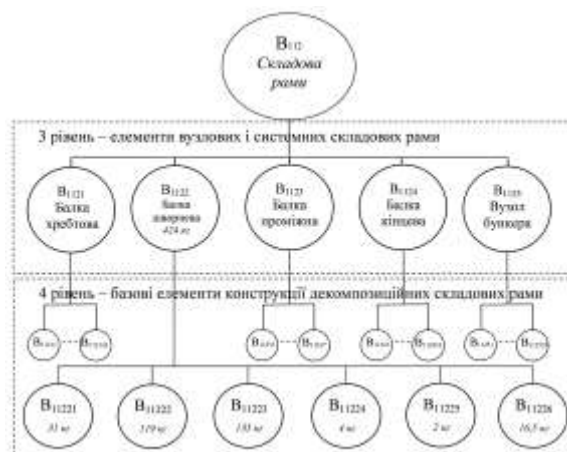


Рис. 3 - Блочно-ієрархічна схема складової рами  $V_{112}$  напіввагонів 20-9749

перевозимого вантажу у складі поїзда з 60-ти таких вагонів на 10,4 т). За своєю суттю наведені вище фрагменти ФО являють собою відповідні "Г"-дерева [9].

Для проведення проектних робіт з розробки альтернативних варіантів конструювання кузовів напіввагонів доцільно використовувати більш розгалужені ФО у вигляді "І-АБО"-дерев [10]. Для прикладу на рис. 4 представлено фрагмент "І-АБО"-дерев кришки люка універсальних на піввагонів.

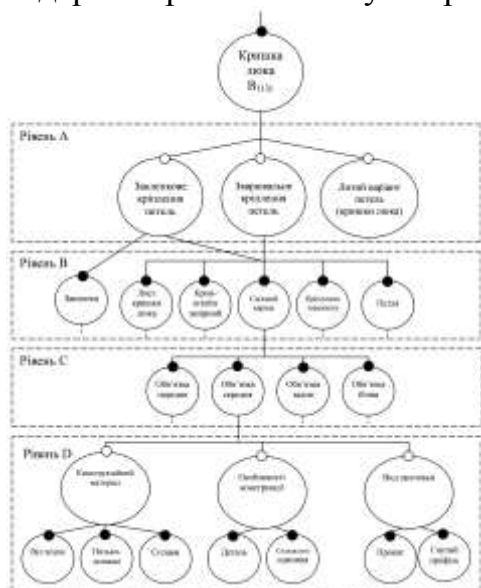


Рис.4 - Фрагмент "І-АБО"-дерев кришки люка універсальних напіввагонів ● – вершини "Г"; ○ – вершини "АБО"

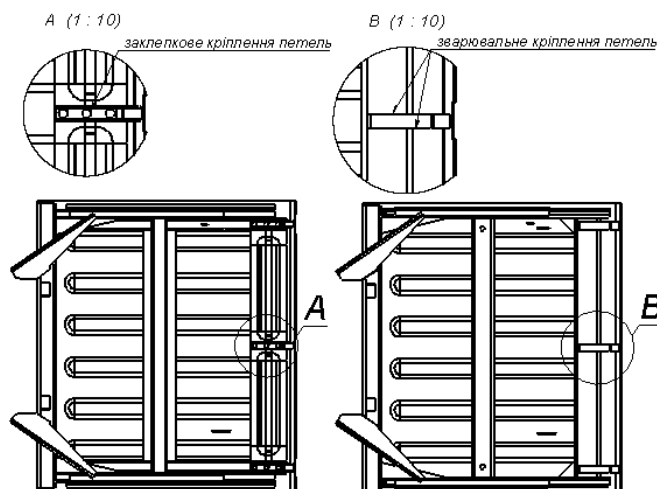


Рис.5 - Варіанти виконання кришки люка напіввагонів моделі 12-9904 та моделі 12-9904-01

Кришка люка належить до вершини "Г". Рівень А (альтернативна лінійка) формується за рахунок вершин "АБО". Кожна з цих вершин утворює відповідні вузли "АБО" (І-кущі) до яких прив'язані певні вершини "Г" (утворюють рівень В). В свою чергу кожна з вершин рівня В поділяється на складові (вершини "Г"), які утворюють рівень С. З метою урахування особливостей виготовлення розглядаємих елементів конструкції доцільно розглядати відповідні кущі "І-АБО" і "АБО".

Альтернативні лінійки в яких належать до рівня D (розглядається на прикладі обв'язки середньої).

Створене ФО використовувалось при проведенні робіт з удосконалення конструкції універсальних напіввагонів моделей 12-9904 та 12-9904-01 (виробник ПрАТ «ДМЗ» [11]). Застосування запропонованих технічних рішень, а саме, зварювального з'єднання кріплень петель кришок люків замість прийнятого заклепкового (рис.5) дозволяє знизити собівартість їх виготовлення майже на 5% та підвищити технологічність таких кузовів напіввагонів при їх виготовленні.

### **Висновки і рекомендації щодо подальшого використання.**

Наведені у статті матеріали підтверджують доцільність використання запропонованих ФО в дослідженнях з удосконалення конструкції сучасних напіввагонів. Такий підхід може використовуватися при проведенні науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення нових та модернізації вже існуючих вантажних вагонів різних типів.

**Список літератури:** 1. *Данько М. І.* Удосконалення організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів різної форми власності на залізницях України / *М. І. Данько, Д. В. Ломотько, В. В. Кулешов* // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 129. – С. 5-11. 2. *Ломотько Д. В.* Современный грузовой подвижной состав нового поколения как приоритетное направление развития украинских железных дорог / *Д. В. Ломотько* // Вагонный парк. – 2012. – Вып. 10 (67). – С. 6 - 7. 3. *Мороз, В. І.* Новий підхід до формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту / *В. І. Мороз* // Залізничний транспорт України. Науково-практичний журнал. – Київ, 2010. – Вип.№4.- С.41, 42. 4. *Мороз В. І.* Формалізоване описання конструкції залізничних вантажних вагонів / *В. І. Мороз, О. В. Фомін* // Зб.наук.праць 107. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вип. –С 173-179. 5. ГОСТ 26725-97 Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия [Текст]/ Госстандарт Украины, Киев, 1999г. 6. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 354с. 7. *Мороз, В. І.* Формалізоване описання конструкції залізничних напіввагонів-хоперів для гарячих окатишів та агломерату/ *В. І. Мороз, О. В. Фомін, В. В. Фомін* // Зб. наук. праць. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2011. – Вип.№1(155) Ч.2.- С.150-157 8. *Мороз, В. І.* Визначення структури матеріалоемності залізничного напіввагону з використанням блочно-ієрархічного описання його конструкції [Текст]/ *В. І. Мороз, О. В. Фомін* // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип.№21.- С.101-109 9. *Мороз, В. І.* Основи конструювання і САПР [Текст]: навч. посібник / *В. І. Мороз, О. В. Братченко, В. В. Ліньков*// – Харків: Нове слово, 2003. – 194 с. 10. *Половинкин, А. И.* Основы инженерного творчества [Текст]: учебн. Пособие / *А. И. Половинкин* // – М.: машиностроение, 1988.-368с. 11. Конструкторская документация на полувагоны модели 12-9904 и модели 12-9904-01 (9904.00.000 и 9904.00.000-01) / разработано главн. констр. – *А. В. Фомин* //– Донецк, ПрАО «ДМЗ» 2011г.

*Надійшла до редколегії 20.02.2013*

УДК 629.463.001.63

**Формалізоване описання конструкції кузовів сучасних залізничних напіввагонів / В. І. Мороз, О. В. Фомін, О. В. Братченко, В. В. Фомін** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 24-29. – Бібліогр.:11 назв.

В статье представлены особенности разработки и использования блочно-иерархического описание конструкции современных кузовов железнодорожных полувагонов.

**Ключевые слова:** полувагоны, проектирования кузовов, формализованное описание.

In the article the features of development and use are presented block-hierarchical description of construction of modern baskets of railway freight gondolas.

**Keywords:** freight gondolas, planning of baskets, formalizovannoe description.

УДК 620.179.17

**К.Л. НОЗДРАЧОВА**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ», Харків

## ОСОБЛИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБІВ

Проаналізовано особливості проведення ультразвукового методу неруйнівного контролю довгомірних виробів, наведено методики контролю прутків по різних схемам. Розглянуто реалізацію стандартних зразків підприємств, які застосовуються для настроювання приладів для контролю прутків. Виділено напрямки вдосконалення розглянутого виду контролю.

**Ключові слова:** ультразвуковий контроль, довгомірні вироби, дефект.

У результаті окремих порушень технологічного процесу при прокатці, можлива поява різного роду дефектів, виявлення яких є досить складною інженерною задачею. Основним НТД в Україні та країнах СНД з УЗ контролю прутків і заготовок круглого, квадратного й прямокутного перерізу є ГОСТ 21120-75 [1]. Він регламентує луна-імпульсний, тіньовий і дзеркально-тіньовий методи ультразвукового контролю металу, або їх поєднання. Такі види контролю виконують поздовжніми й поперечними хвилями, хоча схема контролю поперечними хвилями не визначено. Для настроювання чутливості дефектоскопа застосовують стандартні зразки підприємства (СЗП) зі штучними відбивачами за методикою [2] у вигляді бічних циліндричних або плоскодонних отворів.

Для прозвучування заготовок [3, 4] датчик встановлюється таким чином, щоб можна було контролювати весь об'єм металу, з використанням ультразвукового методу контролю. При цьому заготовки квадратного перерізу прозвучуються з двох взаємно перпендикулярних граней, круглі заготовки – по утворюючій [3].

При використанні похилих перетворювачів сканування робиться у двох напрямках, перпендикулярних утворюючій круглої заготовки й довжині прямокутної [1-4].

При оцінці допустимості дефекту враховуються амплітуда луна-сигналу від нього в порівнянні з амплітудою луна-сигналу від штучного відбивача й умовну довжину, спосіб виміру якої стандарт не визначає [1]. За результатами контролю було встановлено чотири групи якості. Відповідно до першого з них прутки не повинні містити дефектів з амплітудою луна-сигналу, більшою, ніж від штучних відбивачів, і довжиною > 20 мм. Відповідно до інших груп якості прутки можуть містити дефекти, амплітуда луна-

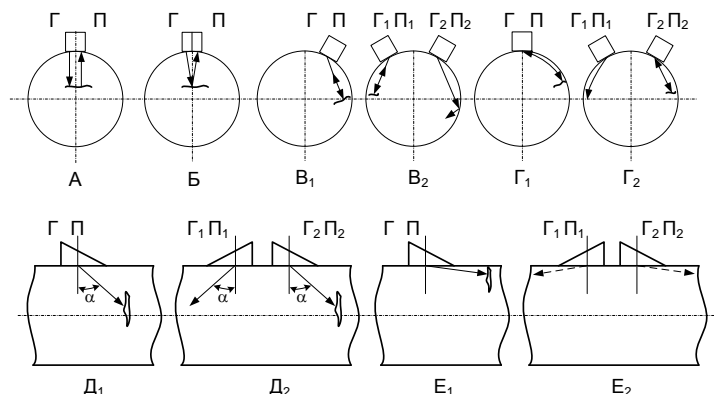


Рис. – Методика контролю прутків по різних схемам: Г – випромінювач, з'єднаний з генератором УЗ хвиль; П – приймач УЗ хвиль

сигналу від яких більше, ніж від штучних відбивачів [3, 4].

На практиці контролю прутків задовільно показали себе наступні схеми (рис.): поздовжніми хвилями із застосуванням сполученого перетворювача (схема А); поздовжніми хвилями із застосуванням РС перетворювача (Б); зсувними хвилями в площині поперечного перерізу прутка сполученим перетворювачем (В1 й В2); зсувними хвилями в площині уздовж осі прутка сполученим перетворювачем (Д1 і Д2); поверхневими хвилями в площині поперечного перерізу прутка сполученим перетворювачем (Г1 і Г2); поверхневими хвилями в діаметральній площині прутка сполученим перетворювачем (Е1 й Е2) [1]. Характеристики й застосовність схем контролю наведено в табл.

Таблиця – Схеми контролю прутків

Схема контролю	Діаметр прутка, мм	Типи хвиль	Тип ПЕП	Характер виявлення дефектів
А	40...230	Поздовжні	Суміщений	Внутрішні дефекти
Б	20...230		РС	
В1 та В2	10...230	Зсувні	Суміщений	Внутрішні та підповерхневі
Г1 та Г2	10...230	Поверхневі		Поверхневі та поверхневі вздовж вісі прутка
Е1 та Е2	10...230			
Д1 та Д2	10...60	Зсувні		Внутрішні поперек вісі прутка

Аналіз схем контролю та даних, наведених в таблиці 1 показує, що продуктивність їх використання при дефектоскопії є недостатньою, що обумовлено необхідністю сканування всієї поверхні виробу.

Можна зробити висновок, що для контролю тонких прутків діаметром від 2 до 5 мм раціонально застосовувати нормальні хвилі, які поширюються у напрямку довжини стрижня й утворюють систему стоячих хвиль у поперечному перерізі [5]. Ці хвилі іноді називають хвилями Похгаммера. Для стрижнів з різною формою поперечного перерізу (круглих, квадратних і т.д.) будують свої системи дисперсійних кривих, виділяючи симетричні й несиметричні моди. Поширюючись тільки в одному напрямку (уздовж прутка), хвилі Похгаммера плоскі й послабляються лише за рахунок загасання в матеріалі об'єкту контролю [6]. Загасання нульової моди  $s_0$  хвилі Похгаммера в області мінімальної дисперсії швидкості (на низькій частоті), обумовлене внутрішніми втратами, невелике, що дозволяє спостерігати серію багаторазових відбиттів у досить протяжних прутках. Крім симетричних і несиметричних хвиль у стрижні або трубі може поширюватися крутильна хвиля [5, 6]. Вид коливань у ній – поворот навколо осі деякого перерізу стрижня або труби. Ця хвиля не є нормальною.

Нормальні хвилі можуть відбиватися не тільки від дефектів, але й від наявних на поверхні крапель рідини, бруду й т.п. Крім того, недоліком такого контролю нормальними хвилями є наявність великої мертвої зони [7]. Специфічною особливістю практичного використання перетворювачів електромагнітного типу для збудження й приймання ультразвукових хвиль у металевих листах є однобічний доступ до поверхні листа. При цьому, звичайно, здійснюється одночасне збудження

(реєстрація) нормальних хвиль, симетричних і антисиметричних відносно серединної поверхні листа. Як правило, це хвилі Лемба. У дуже рідких випадках – горизонтально-зсувні хвилі. У цій ситуації виникає питання про відносні рівні енергії, котра переноситися симетричною й антисиметричною складовими хвильового поля. Якщо в деякому діапазоні цих частот ці рівні порівнянні, то виникають істотні викривлення форми імпульсного сигналу, оскільки фазова й групова швидкості всіх без винятку антисиметричних мод піддаються частотній залежності. Ці дисперсійні викривлення можуть приводити до появи неправильних сигналів, які при дефектологічних дослідженнях металевих листів найчастіше інтерпретуються як свідчення дефектів суцільності контрольованого виробу. Фальшиві ультразвукові імпульси, що виникають через частотну дисперсію антисиметричної складової хвильового поля, можуть служити причиною невиправданого вибракування листового металопрокату й навпроти, можуть маскувати відбиті від реальних дефектів сигнали, тобто можуть служити причиною пропуску дефектного виробу. Це пояснюється дисперсією нормальних хвиль, що приводить до збільшення тривалості імпульсу й зниженню роздільної здатності методу.

Такий вид контролю ускладнюється, якщо діаметр стрижня більше 8 мм через те, що з'являється безліч симетричних й асиметричних дисперсійних мод хвиль із яких складно виділити нульову, що є інформативною [7]. Тому, використання об'ємних хвиль є більш доцільним при контролі стрижнів.

Контроль протяжних виробів товщиною від 50 мм і більше проводиться прямим, роздільно-сполученим і похилим перетворювачами [1]. Для зручності контролю вироб, що має більшу площу, розмічають за допомогою швидкозсихаючої фарби на ділянки, які контролюють послідовно [4]. Пошук дефектів ведуть шляхом переміщення перетворювача по поверхні виробу або виробу щодо перетворювача. Крок сканування при цьому не більше півширини п'єзоелемента перетворювача. [4]. При контролі виробу з матеріалу з високим рівнем структурних перешкод вживають заходи для їхнього зниження, наприклад, контролюють поздовжніми хвилями замість поперечних [6, 8, 4], застосовують фокусуєчі та РС перетворювачі і т.д.

З аналізу наведених даних видно, що контроль ефективний, однак займає дуже багато часу й засобів, тобто економічно нерентабельний. Таким чином, проблема поліпшення якості сканування й виявлення дефектів довгомірних виробів не зовсім вирішена. До того ж у вітчизняній літературі не запропоновано метод поліпшення контролю суцільних виробів з перерізом від 10 до 50 мм.

Для вирішення цієї задачі було розроблено високопродуктивний ультразвуковий метод контролю довгомірних виробів з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м, суть якого полягає у збудженні ультразвукових імпульсів вздовж виробу, багатократному відбитті від його меж і трансформації ультразвукового поля, дифракції хвиль на дефектах та прийнятті пакетів дифрагованих імпульсів, за характеристиками яких визначають якість об'єкта контролю.

Реалізація методу підтверджена під час проведення експериментальних досліджень у заводських та лабораторних умовах. При дослідженнях встановлено діапазон ефективної величини перерізів об'єкту контролю, діапазон кутів введення ультразвукових імпульсів, частоту ультразвукових коливань, “мертву зону” і пов'язану з цим кількість позицій перетворювача, необхідних для виявлення дефектів [9, 10].

При контролі грубозернистих матеріалів доцільно застосовувати поздовжні хвилі. Якщо необхідно підвищити максимальну чутливість і роздільну здатність, то у

зв'язку з меншою довжиною хвилі більш доцільно вибрати поперечні хвилі [3, 4]. Використання комбінації об'ємних поперечних і поздовжніх хвиль, дає можливість, з врахуванням деяких особливостей, зробити метод дефектоскопії стрижнів універсальним.

Висновки. Незважаючи на значний об'єм теоретичних й експериментальних досліджень, присвячених створенню методів «швидкого» чутливого контролю до теперішнього часу не створена теорія дефектоскопії у високочастотному діапазоні пружних об'ємних хвиль. Тобто в вітчизняній літературі описані тільки низькочастотні методи контролю, але чутливість таких методів недостатня, а обладнання є дорогим. Тому розроблений метод ультразвукового контролю дозволяє проводити експрес-контроль довгомірних виробів у високочастотному діапазоні (1,8...2,5 МГц) з достатньою вірогідністю без сканування та зачистки всієї поверхні об'єкту, як передбачено ГОСТ, що зекономить час та кошти.

**Список літератури:** 1. Прутки и заготовки круглого и прямоугольного сечения: ГОСТ 21120-75. – [Действующий с 1977-10-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 6 с. 2. *Бабаджанов Л. С.* Образцы искусственных дефектов и их сертификация / *Л. С. Бабаджанов, М. Л. Бабаджанова* // Контроль и диагностика. – 2008. – №8 – С. 73–76. 3. Неразрушающий контроль : справочник в 7 т. Т. 3. Ультразвуковой контроль / В. В. Клюев, И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге ; под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2004. – 864 с. 4. *Ермолов И. Н.* Теория и практика ультразвукового контроля / *И. Н. Ермолов.* – М. : Машиностроение, 1981. – 240 с. 5. *Буденков, Г. А.* Основные закономерности взаимодействия волн Похгаммера с дефектами / *Г. А. Буденков, О. В. Недзведская* // Дефектоскопия. – 2004. – №2 – С. 33–46. 6. Эффективность использования стержневых и крутильных волн для контроля пруткового проката / *Г. А. Буденков, О. В. Недзведская, Д. В. Злобин, Т. Н. Лебедева* // Дефектоскопия. – 2004. – №3 – С. 3–8. 7. *Патон Е. А.* Метод низкочастотного ультразвукового контроля протяженных объектов направленными волнами / *Е. А. Патон, В. А. Троицкий, А. И. Бондаренко* // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – №2 – С. 20–30. 8. *Патон Е. А.* Контроль технического состояния протяженных конструкций низкочастотными направленными волнами / *Е. А. Патон, В. А. Троицкий, А. И. Бондаренко* // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики : мат-лы 16-й междунар. конф. – Ялта, 2008. – С. 131–134. 9. *Ноздрачова К. Л.* Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів в стрижнях / *Г. М. Сучков, К. Л. Ноздрачова* // Вісник НТУ «ХП». – Харків : НТУ «ХП», 2008. – Вип. 48. – С. 104–109. 10. *Ноздрачова К. Л.* Математичне моделювання високопродуктивного метода виявлення дефектів у довгомірних виробках / *Г. М. Сучков, К. Л. Ноздрачова* // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. – № 22. – С. 7–13.

*Надійшла до редколегії 18.02.2013*

УДК 620.179.17

**Особливості ультразвукового контролю протяжних виробів / К. Л. Ноздрачова** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 29-33. – Бібліогр.: 9 назв.

Проанализированы особенности проведения ультразвукового метода неразрушающего контроля длинномерных изделий, приведены методики контроля прутков по разным схемам. Рассмотрена реализация стандартных образцов предприятий, которые применяются для настройки приборов для контроля прутков. Выделены направления совершенствования рассматриваемого вида контроля.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, длинномерные изделия, объемные волны, дефект, нормальные волны, мода, преобразователь.

The features of the ultrasonic NDT method of long products, methods of control rods are with different schemes. Realization of standard samples of enterprises, which are used to configure the devices for the control rods. Identified areas for improvement of this species control.



Keywords: ultrasonic testing, long products, volume waves, defect, normal modes, mode, the transducer.

## УДК 621.9.06

**О. С. КРОЛЬ**, канд. техн. наук, проф., Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Луганск;

**Е. И. БУРЛАКОВ**, студент, Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Луганск

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА**

Представлена процедура комплексного моделирования формообразующего шпиндельного узла обрабатывающего центра сверлильно-фрезерно-расточного типа с использованием параметрического моделирования в интегрированной САПР АРМ WinMachine. Сформирован статический формуляр, как средство экспресс-анализа и моделирования конструкции шпиндельного узла.

**Ключевые слова:** шпиндель, параметрическая модель, поперечная компоновка, статический формуляр.

#### **Введение**

При обработке сложных деталей увеличивается доля программно-управляемых станков с устройствами автоматической смены инструмента (АСИ) и заготовки (АСЗ), получивших название обрабатывающих центров (ОЦ). Эффективность процесса создания оборудования во многом будет зависеть от уровня используемых средств построения моделей проектируемых объектов, выбор которых представляет достаточно сложную процедуру. Требования к конструкциям формообразующих узлов различаются в зависимости от их назначения, при этом существует разнообразие групп факторов, влияющих на эффективность принимаемых проектных решений. Наряду с конструктивными факторами: типом шпинделя (с ременной передачей или мотор-шпиндель); подшипниками (тип, количество, схем установки); системой зажима инструмента, на эффективность проектируемого шпиндельного узла влияют структурные факторы, такой как пространственная компоновка привода главного движения (ПГД).

Для всего разнообразия станков определенной группы невозможно использовать одну-две конструкции ПГД. Чаще всего приходится либо разрабатывать новую конструкцию, применяя методы структурной оптимизации, либо создавать новый вариант уже известной конструкции-прототипа с помощью метода параметрической оптимизации.

Особенностью автоматизированной процедуры проектирования ПГД является множество альтернативных вариантов компоновки и необходимость корректировки и доработки с учетом специфических особенностей объекта проектирования. При этом эффективность проектирования ПГД зависит от принятой поперечной компоновки (свертки), в том числе от положения выходного вала.

Исследовать влияние структурных факторов на конструкцию шпинделя целесообразно с помощью интегрированных САПР. Кооперация двух динамически развивающихся систем КОМПАС 3D и АРМ WinMachine открывает новые возможности для построения разнообразных моделей формообразующих узлов и их исследование методами конечных элементов.

©О. С. КРОЛЬ, Е. И. БУРЛАКОВ, 2013

## **Анализ основных достижений і публикаций**

При конструировании ПГД стремятся упростить конструкцию и сделать ее более компактной за счет уменьшения числа ступеней, ограничения передаточных чисел и выбора рациональной поперечной компоновки. Известные математические модели компоновок учитывают, в основном, информацию о взаимосвязи между блоками станка, а их размещение в пространстве представлено в косвенной форме. Для многошпиндельных токарных автоматов предложено формальное описание в виде расширенных структурных формул, дающих представление о положении шпиндельных блоков в общей компоновке станка [1]: Вопросы выбора квазиоптимального компоновочного решения (использование центральной колонны для размещения вертикальных силовых агрегатов) для агрегатных станков и их влияние на повышение жесткости технологической системы рассмотрены в работе [2]. Для ОЦ сверлильно- фрезерно-расточного типа станков наблюдается влияние положение выходного вала привода главного движения на работоспособность шпиндельного узла. Множество вариантов пространственных компоновок и их влияние на нагружение шпиндельного узла затрудняет проведение процедуры оценки выходных параметров при изменении компоновочных факторов. Ситуацию может улучшить применение инструментария параметризации в среде САПР АРМ WinMachine [3], в которой не используется дорогой заимствованный параметризатор, а реализуется собственное программное обеспечение для создания чертежно-графического параметрического редактора АРМ Graph, который может использоваться как в составе системы в целом, так и самостоятельно.

Еще одной характерной задачей для данного типа ОЦ является необходимость расширения технологических возможностей станка при использовании разнообразной оснастки. В этом случае целесообразно использовать известный подход, основанный на создании статических формуляров шпиндельных узлов [4]. Он эффективен тем, что для определенного типоразмера шпиндельного узла решение записывается только один раз в виде статического формуляра, а в зависимости от параметров инструментального блока решению конкретизируется.

### **Цель исследования, постановка задачи**

В качестве цели рассматривается повышение уровня проектных решений в процессе создания конструкции шпиндельного узла ОЦ в условиях многовариантного проектирования.

Для достижения данной цели решаются взаимосвязанные задачи, которые формулируются следующим образом:

*1. Разработать такую параметрическую модель поперечной компоновки ПГД, которая обеспечивает максимальную жесткость проектируемого станка (его шпиндельного узла).*

*2. Выполнить экспресс-оценку жесткости двухопорного шпиндельного узла с помощью разработанного статического формуляра и предложить на его основе процедуру моделирования шпинделя при различных вариантах инструментальной оснастки.*

### **Материалы исследований**

Рассмотрим конструкцию ПГД (рис.1) обрабатывающего центра ОЦ200 с горизонтальным шпинделем.

Обрабатывающий центр ОЦ 200 имеет порталную компоновку с продольно подвижными крестовыми салазками, по которым поперечно перемещается порталная стойка, несущая вертикально-подвижную шпиндельную бабку. В приводе

главного движения ОЦ применяется регулируемые приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразованием напряжения. Необходимость регулирования частоты вращения при постоянном моменте в одной части диапазона изменения, и с постоянной максимально допустимой мощностью в другой приводит к двухзонному регулированию. Движение в приводе главного движения передается от электродвигателя через зубчатую ременную передачу на входной вал коробки скоростей (КС), далее через прямозубую зубчатую передачу на выходной вал, который в свою очередь, передает движение на шпиндель станка через зубчатую муфту.

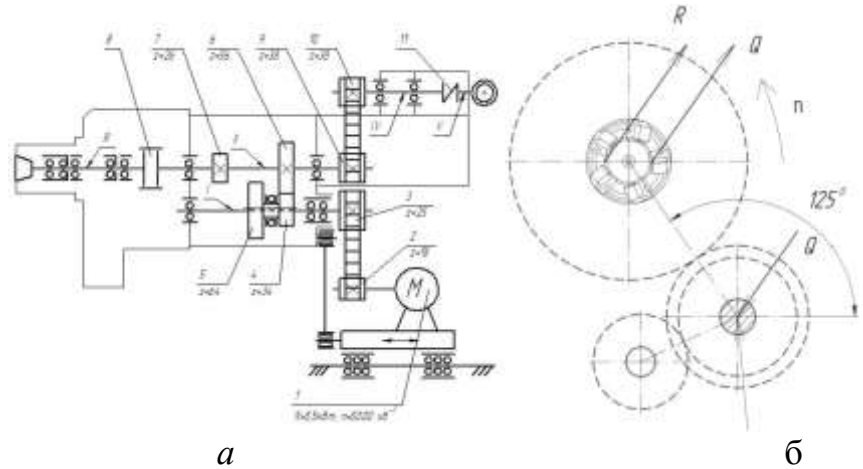


Рис. 1 – Привод главного движения ОЦ: а – кинематическая схема; б – поперечная компоновка

Эффективность проектирования КС зависит от принятой поперечной компоновки (свертки), в том числе от положения выходного вала. При определении пространственного положения зубчатых колес передающих вращающий момент на шпиндель станка необходимо учитывать что, параллельность и однонаправленность силы резания  $R$  и результирующей силы  $Q$  в зубчатом зацеплении «Выходной вал – шпиндель» (рис.1,б) обеспечивает максимальную жесткость шпиндельного узла (минимальный прогиб переднего конца шпинделя).

Множество вариантов конструктивных исполнений ПГД и взаимного расположения деталей привода с одной стороны, а также необходимость повышения производительности труда проектировщика с другой делает эффективным использование аппарата параметрического моделирования. Этот аппарат, позволяющий уменьшить время разработки новой или модификации известных конструкций, а также задействовать оптимизационные решения, реализован в САПР АРМ WinMachine, [3]. Механизм параметризации характеризуется наличием взаимосвязей и ограничений между геометрическими объектами, составляющими эту конструкцию (в отличие от непараметрического). При этом часть указанных взаимосвязей и ограничений может формироваться автоматически при вводе графической информации, а остальные назначаться пользователем самостоятельно.

Для оптимизации поперечной компоновки ПГД обрабатывающего центра ОЦ200 разработана программа построения параметрической модели на базе синтаксиса АРМ WinMachine, которая представлена в окне переменных системы (рис.2)

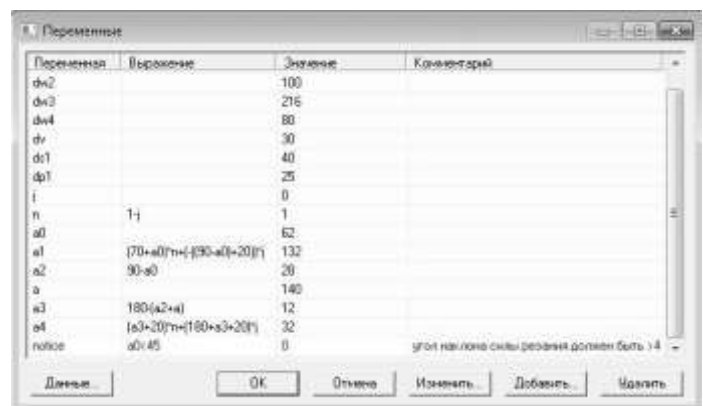


Рис. 2 - Окно переменных АРМ WinMachine

На базе данной параметрической модели разработана оптимальная компоновка

ПГД по критерию максимальной жесткости (шпиндельное колесо показано штриховой линией), отличающаяся от базовой компоновки (шпиндельное колесо изображается основной линией) пространственным расположением валов (рис.3).

Для исследования шпиндельного узла по критерию жесткости воспользуемся методом начальных параметров в матричной постановке.

Формообразующие узлы обрабатывающих центров представляют собой замкнутые динамические системы, использующие различные комплекты вспомогательного инструмента. Качество изготавливаемых изделий во многом зависит от конструктивных характеристик инструментальной оснастки, в частности от ее основных размеров: длины консоли  $l_k$ , диаметра консоли  $d_k$  и др.

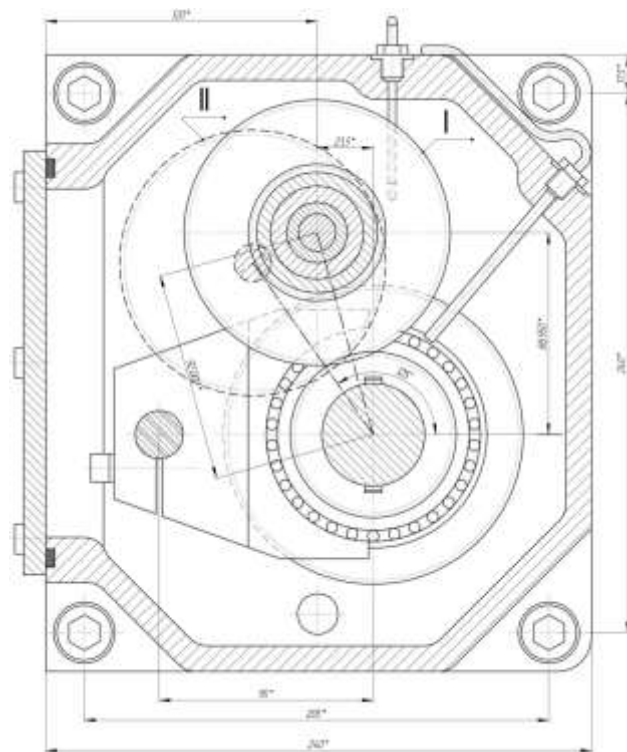


Рис. 3 - Пространственные компоновки ПГД

Для исследования жесткости формообразующих узлов необходимо сформировать аналитические зависимости выходных характеристик шпиндельного узла (ШУ) от влияющих на него параметров. Такие зависимости входят в упругодеформационную модель двухопорной конструкции ШУ с набором инструментальных блоков (консолей) различного типоразмера. Особенностью проектируемого узла является наличие двух компонентов:

унифицированный двухопорный шпиндельный узел, применяемый в различных обрабатывающих центрах сверлильно-фрезерно-расточного типа, переменный компонент, представленный в виде модульных инструментальных блоков (инструментальной оснастки), настраиваемый на различную номенклатуру изготавливаемых изделий.

Многообразие инструментальной оснастки и ограниченное количество конструктивных вариантов ШУ (характеризуемых длиной межопорной части  $l$ , длиной консольной части  $l_1$ , и диаметром  $d$ ) делает целесообразным выделение этих двух компонент в разрабатываемой модели.

Первый компонент представлен в упругодеформационной модели в виде статического формуляра  $\delta = (\Delta_2 + \Delta_3)$ , т.е. в виде аналитической зависимости перемещения опор  $\Delta_2$  и собственно шпинделя  $\Delta_3$  от длины консоли  $l_k$ . Для его построения используется система из четырех линейных уравнений с граничными условиями [4, 5]. Для станка модели ОЦ200ПФ4В в математической среде MAPLE получены в символьной форме (с использованием синтаксиса MAPLE) величины реакций и моментов на задней и передней опорах  $\{R_z, R_p, m_z, m_p\}$ :

$$\begin{aligned} R_z &:= -.3603202376e^{-1}-.2452973750e^{-2}*l_k; \\ R_p &:= 1.036032024+.2452973750e^{-2}*l_k; \\ m_z &:= 22.41221202+.3580700476e^{-1}*l_k; \\ m_p &:= 65.63360739+.4907690615*l_k. \end{aligned}$$

В этом случае статический формуляр представляет собой

$$\delta := .3938342093e^{-6} + .4318552804e^{-7} * l_k + .6804730068e^{-9} * l_k^2. \quad (1)$$

Вычисленные значения реакций позволяют определить прогиб  $y(x)$  и угол поворота  $y'(x)$  на правом конце шпинделя ( $x=l+l_1$ ) в функции от длины  $l_k$  условной консоли. В таблице представлены основные линейные размеры и результаты промежуточных расчетов податливости опор.

Таблица - Параметры жесткости шпиндельного узла

Исходные данные							Статический формуляр, $\delta$ мм/Н
Модель	Размеры, мм		Податливость ( $\times 10^{-8}$ ), мм/Н				
	$l$	$l_1$	$A_z$	$A_p$	$a_z$	$a_p$	
ОЦ200	193	95	439	432	0,06	0,06	$(39,38 + 4,32 l_k + 0,068 l_k^2) 10^{-8}$

Конструктору часто иной наладки. Это можно сделать с помощью номограммы, состоящей из двух частей: статического формуляра  $\delta$  (рис. 4, а), построенного по формуле (1) и графика податливости консоли  $\Delta_1$  (рис. 4, б), построенного для консолей постоянного сечения и различных значений диаметров  $d_k$ . Консоль рассматривается требуется быстро произвести статический расчет той или как балка, защемленная в опорном сечении и нагруженная в месте резания единичной силой. На рис. 4, а представлены, в качестве иллюстрации, податливости шпинделей станков подобного типа.

### Результаты исследований

Разработана параметрическая модель поперечной компоновки привода главного движения обрабатывающего центра сверлильно-фрезерно-расточного типа с использованием критерия максимальной жесткости. Эта модель может быть использована для широкой гаммы станков подобного типа. На базе этой модели построена поперечная компоновка конкретного станка ОЦ 200ПФ4В повышенной жесткости. Построен статический формуляр двухопорного шпиндельного узла ОЦ с помощью метода начальных параметров в матричной постановке. Дана оценка влияния инструментальной оснастки в зависимости от длины вылета и диаметра инструментального блока.

### Выводы

Проведенные исследования показывают влияние на эффективность конструкции привода главного движения компоновочного фактора и, в частности, расположения выходного вала относительно шпинделя. При этом использование САПР АРМ WinMachine позволяет это осуществить на уровне параметрической модели и дать в

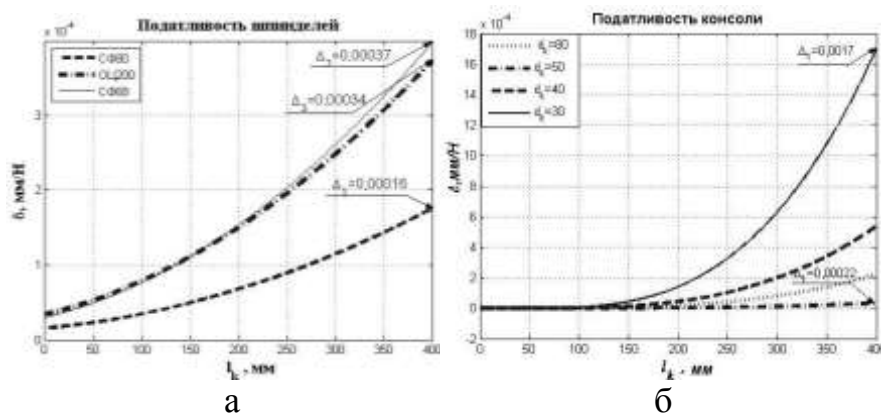


Рис.4 - Податливость шпиндельного узла: а – податливость шпинделя обрабатывающего центра (статический формуляр); б – податливость инструментального блока (консоли)

экспресс-режиме количественную оценку изменения параметров жесткости шпиндельного узла. Предложенная процедура исследования податливости узла «шпиндель - инструментальный блок повышает производительность труда проектировщика и позволяет распространить данную процедуру на расширенный комплект оснастки обрабатывающих центров.

**Список литературы:** 1. Кузнецов Ю. Н. Аспекты прогнозирования развития конструкций многошпиндельных токарных автоматов / Ю. Н. Кузнецов, Р. А. Скляр // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». – 1997. – Серия Машиностроение, № 32. – С. 17-22. 2. Алехин В. А. Об оптимальной концентрации операций при ограниченном объеме зоны обработки в агрегатированных технологических системах / В. А. Алехин, А. А. Пермяков, О. Ю. Приходько // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998, №27. – С. 120-124. 3. Замрий А. А. Практический учебный курс CAD/CAE АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие/ А. А. Замрий . – М.: Изд-во АПМ, 2007.– 144 с. 4. Попов В. И. Динамика станков / В. И. Попов, В. И. Локтев. - Киев: Техника, 1975.-136 с. 5. Кроль О. С. Исследование динамической системы шпиндель-опрака-инструмент фрезерного станка / О. С. Кроль // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000, №95. – С. 163-178.

*Надійшла до редколегії 28.02.2013*

УДК 621.9.06

**Моделирование шпиндельного узла обрабатывающего центра/ О. С. Кроль, Е. И.**

**Бурлаков // // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 33-38. – Бібліогр.: 5 назв.**

Надана процедура комплексного моделювання формоутворюючого шпиндельного вузла обробного центру свердлильно-фрезерно-розточного типу з використанням параметричного моделювання в інтегрованої САПР АРМ WinMachine. Сформован статичний формуляр, як засіб експресс-анализу и моделювання конструкції шпиндельного вузла.

**Ключові слова:** шпиндель, параметрична модель, поперечна компоновка, статичний формуляр.

The presented procedure of complex modeling shape form of the spindle's node processing centre drill-milling-boring of the type with use of parametric modeling in integrated CAD АРМ WinMachine. It is formed state card, as facility express-analysis and modeling to designs spindle's node.

**Keywords:** spindle, parametric model, transverse arrangement, state card.

*А. С. ВАНЮШКИН*, канд. техн. наук, доц., Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь

## ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ДЕЙСТВЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПОРТФЕЛЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

В статье выполнен комплекс расчетов, доказывающий действенность предложенных автором ранее 10 параметров диверсификации портфеля на примере 70 пар инвестиционных проектов, при этом попутно решена проблема уточнения способа определения риска по каждому из показателей диверсификации портфеля проектов.

**Ключевые слова:** портфель инвестиционных проектов, диверсификация, риски, доходность.

### Введение

В статье рассматривается проблема создания диверсифицированного портфеля инвестиционных проектов. Эта проблема имеет важное научно-практическое значение для совершенствования обоснования инвестиционной деятельности в нашей стране. На сегодня в Украине создано и начало свою работу Агентство по инвестициям и управлению национальными проектами. Однако текущая деятельность этого Агентства позволяет нам утверждать о том, что оно нуждается в использовании методов формирования диверсифицированных портфелей инвестиционных проектов.

### Постановка проблемы

На сегодняшний день механизмы формирования диверсифицированного инвестиционного портфеля работают, главным образом, по отношению к портфелям ценных бумаг. Теоретическим обоснованием диверсификации таких портфелей является портфельная теория Г. Марковица [1].

Главным критерием диверсификации инвестиционного портфеля, согласно теории Г. Марковица, является значение коэффициентов корреляции рыночных котировок или доходности активов. В то же время такие критерии отсутствуют по отношению к портфелю инвестиционных проектов. Поэтому требуется разработка и обоснование таких критериев с позиций универсального принципа оптимальности соотношения «риск – доходность».

### Анализ публикаций

На сегодняшний день критерии диверсификации портфеля инвестиционных проектов разработаны нами и приведены в нашей монографии и в нашей опубликованной статье [2,3]. Однако в них отсутствует обоснование действенности предложенных критериев с позиций принципа оптимальности по Парето соотношения «риск – доходность». Это упущение и призвано ликвидировать данное исследование.

**Цель исследования** заключается в обосновании предложенных ранее критериев диверсификации портфеля инвестиционных проектов с позиций оптимальности по Парето соотношения «риск – доходность». Для достижения этой цели исследования были решены следующие *задачи*: уточнение способа определения риска по каждому

из показателей диверсификации портфеля инвестиционных проектов; сопоставление значений «риск – доходность» по парам диверсифицируемых проектов со значениями показателей диверсификации по этим парам.

### **Основная часть**

Предложенные нами показатели диверсификации портфеля инвестиционных проектов: наличие технологической взаимосвязи проектов; степень разнообразия продуктового ассортимента по проектам; массовость производства в отрасли проектных компаниях; степень конкуренции и стабильность объема продаж; тип экономической важности (экспорт, импорто замещение); объем единичной инвестиции в отрасли; достаточность объема инвестиций в отрасль в регионе; соотношение масштабов и сроков окупаемости проектов; соотношение длительности инвестиционной фазы и срока окупаемости проекта; степень совокупного риска проектов.

Доказательство действенности предложенных показателей диверсификации будем проводить путем сопоставления пар с лучшим и с худшим значением по одному и тому же показателю диверсификации. При этом, в соответствии с портфельной теорией Г. Марковица, действенность показателя диверсификации будет считаться доказанной, если пара проектов с лучшим значением показателя диверсификации будет иметь лучшее сочетание «риск - доходность» с точки зрения принципа оптимальности по Парето. При этом, как и в портфельной теории Г. Марковица, риск будем измерять среднеквадратическим отклонением доходности  $\sigma$ . Показателями доходности в нашем случае будут выступать чистая текущая стоимость NPV и внутренняя норма рентабельности IRR инвестиционного проекта.

Ввиду отсутствия предыдущего опыта и соответствующей статистики по реализуемым инвестиционным проектам, определение риска  $\sigma$  будет носить виртуальный характер, и будет специфичным для каждого из перечисленных выше показателей диверсификации.

По показателю «наличие технологической взаимосвязи проектов» нам представляется целесообразным следующее соображение. При наличии такой взаимосвязи обнуление дохода по одному проекту будет означать то же самое и для другого проекта, т.е.  $\sigma=100\%$ . При отсутствии технологической взаимосвязи падение дохода по одному из проектов никак не скажется на доходе другого проекта, поэтому  $\sigma=50\%$ .

По показателю «степень разнообразия продуктового ассортимента по проектам» мы будем руководствоваться следующей логикой. Если в рамках проекта предполагается выпускать только один вид продукции, то  $\sigma=100\%$ . При двух принципиально разных с точки зрения рынка видах продукции  $\sigma=50\%$ , при трех  $\sigma=33\%$ , при четырех  $\sigma=25\%$ . Здесь мы исходим из соображения, что падение продаж по одному виду продукции никак не скажется на другом виде товара.

В показателе «массовость производства в отрасли / проектных компаниях» мы имеем в виду наличие достаточного «запаса прочности» по объему производства для того, чтобы выдержать колебания конъюнктуры рынка.

Точнее всего требуемую информацию отражает коэффициент чувствительности  $K_{\sigma}$  чистой текущей стоимости NPV к изменению объема производства. Поэтому в данном случае считаем целесообразным приравнять коэффициент чувствительности  $K_{\sigma}$  по объему к риску  $\sigma$ .

По показателю «степень конкуренции и стабильность объема продаж» наша логика определения  $\sigma$  включает в себя два следующих соображения. По степени



конкуренции в рамках отрасли мы определяем, насколько уменьшится рыночная ниша по проекту при гипотетическом увеличении размера занимаемого всеми вместе конкурентами проекта рынка на 10%. Если рыночная доля конкурентов составляет 80%, и, соответственно, ниша проекта – 20%, то при увеличении доли конкурентов на 10% ниша проекта сократится на 50%. Последнюю величину мы полагаем возможным приравнять к степени риска  $\sigma$ . При доле конкурентов 70% и 10% ее увеличении ниша проекта сократится на 33%, т.е.  $\sigma=33\%$ , при 50% доле конкурентов и 10% ее росте ниша проекта уменьшится на 20%, т.е.  $\sigma=20\%$ .

Под стабильностью объема продаж в рамках рассматриваемого показателя диверсификации мы подразумеваем возможность компенсации падения объемов продаж по одному проекту в рамках диверсифицируемой пары ростом объемов продаж по другому проекту. Тогда риск  $\sigma$  по проекту в данном случае считаем целесообразным определять как соотношение объема продаж по проекту в начальный момент времени (это актуально для проектов, реализуемых на существующей производственной базе, т.е. не с нуля) и объема продаж по проекту в конечный момент времени.

Итоговое значение риска  $\sigma$  по проекту в рамках показателя «степень конкуренции и стабильность объема продаж» будем определять как среднеарифметическое рассмотренных выше его составляющих.

По показателю «тип экономической важности» мы учитываем следующие виды экономической важности проекта: экспорт, импорто замещение, импорт, модернизация инфраструктуры. При этом импорт имеет отрицательную экономическую важность, все остальные перечисленные типы – положительную. Если проект имеет только один тип экономической важности, то деятельность в его рамках не является диверсифицированной. Действительно, ухудшение конъюнктуры мирового рынка или повышение таможенных пошлин способны подорвать финансовую жизнеспособность проекта, ориентированного только на экспорт продукции. Снижение внутреннего потребления способно сократить в разы финансовые потоки по проекту, ориентированному на внутренний рынок. В то же время, наличие хотя бы двух типов экономической важности по проекту (например, экспорт и импорто замещение) способно существенно повысить финансовую жизнеспособность проекта ввиду того, что деятельность по проекту осуществляется на разных, слабо связанных между собой рынках. Поэтому при наличии только одного типа экономической важности по проекту  $\sigma=100\%$ . При наличии двух типов экономической важности по проекту в качестве базы сравнения выбираем тот тип, который повторяется в другом, парном проекте. В этом случае риск  $\sigma$  будет равен доле выбранного типа важности в проекте. Поскольку импорт имеет отрицательную экономическую важность, то его доля в цене конечного продукта по проекту прибавляется к риску  $\sigma$ .

По показателю «объем единичной инвестиции в отрасли» размер риска  $\sigma$  прямо пропорционален объему требуемых капиталовложений в проект. Отсюда считаем целесообразным рассчитывать риск  $\sigma$  как частное от деления объема инвестиций в одну из сравниваемых пар проектов на общий объем капиталовложений в обе рассматриваемые пары.

По показателю «достаточность объема инвестиций в отрасль в регионе» полагаем возможным приравнять риск  $\sigma$  к усредненному по паре проектов разрыву между требуемым и фактическим объемом инвестиций в отрасль в национальном или региональном масштабе. При этом по отрасли с максимальным разрывом по

инвестициям примем  $\sigma=100\%$ , а по остальным – пропорционально разнице по отношению к отрасли – «лидеру».

По показателю «соотношение масштабов и сроков окупаемости проектов» считаем целесообразным приравнять риск  $\sigma$  к соотношению срока окупаемости проекта и объема инвестиций в него. Действительно, из двух проектов с одинаковым объемом инвестиций и двумя разными сроками окупаемости наименее финансово устойчивый и наиболее рисковый тот, у которого срок окупаемости больше. То же самое можно сказать и о двух проектах, у которых срок окупаемости одинаковый, а объемы инвестиций разные. Проект с большим объемом инвестиций наименее финансово устойчивый и наиболее рисковый. В то же время если по двум разным проектам соотношение сроков окупаемости и объемов инвестиций схожее, то они очень хорошо поддаются диверсификации.

По показателю «соотношение длительности инвестиционной фазы и срока окупаемости проекта» полагаем возможным приравнять риск  $\sigma$  к одноименному соотношению. Из двух проектов с одинаковыми сроками окупаемости наиболее финансово устойчивый и наименее рисковый тот, у которого длительность инвестиционной фазы наибольшая. Также из двух проектов с одинаковой длительностью инвестиционной фазы наиболее финансово устойчивый и наименее рисковый тот, у которого срок окупаемости наименьший. В то же время два проекта с разными сроками окупаемости и длительностями инвестиционных фаз при схожем их соотношении могут быть хорошо диверсифицированы.

Показатель «степень совокупного риска проектов», по нашему мнению, лучше всего отражает усредненный по всем влияющим факторам коэффициент чувствительности  $K_{\sigma}$  чистой текущей стоимости NPV. Поэтому в данном случае считаем целесообразным приравнять усредненный по всем факторам коэффициент чувствительности  $K_{\sigma}$  к риску  $\sigma$ .

Нами было произведено сравнение диверсифицируемых по приведенным показателям пар проектов с наилучшими и наихудшими значениями этих показателей. Для этого на основании изложенных выше соображений нами были рассчитаны значения риска  $\sigma$  по каждому из сравниваемых проектов. Значения риска  $\sigma$  были нами сопоставлены со значениями NPV и IRR. Окончательный вывод о приемлемости каждого показателя диверсификации мы делаем на основании критерия оптимальности по Парето. В соответствии с ним, соотношение риска и доходности является наилучшим, если относительная разница по риску (минимальному из двух пар проектов) превышает относительную разницу по доходности (она может быть тоже минимальной).

В табл.1–10 представлены результаты проверки перечисленных выше параметров диверсификации на предмет оптимальности сочетания «риск – доход» на основании критерия оптимальности по Парето на примере портфеля инвестиционных проектов.

Из табл.1 видно, что критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma$  – NPV» выполняется только по восьми из 16 представленных в табл.1 пар проектов, т.е. в 50% случаев. Причиной является разница между NPV проектов, превышающая 50%. В то же время, согласно табл.1, критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем представленным в табл.1 парам проектов.

Таблица 1 - Проверка параметра диверсификации «степень разнообразия ассортимента» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>		<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		НКМЗ	
Турбоатом		НКМЗ		Авиант		Авиант	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	93,3	NPV, млн. \$	34
IRR, %	23,3	IRR, %	20,2	IRR, %	19,4	IRR, %	16,6
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Лугансктепловоз		НКМЗ		КЗТС		НКМЗ	
Турбоатом		Турбоатом		Авиант		Авиант	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	100,2	NPV, млн. \$	25,3	NPV, млн. \$	34
IRR, %	23,3	IRR, %	20,5	IRR, %	16,2	IRR, %	16,6
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Авиант		НКМЗ	
КЗТС		НКМЗ		КЗТС		КЗТС	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	25,3	NPV, млн. \$	35,5
IRR, %	19,8	IRR, %	20,2	IRR, %	16,2	IRR, %	17
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
КЗТС		НКМЗ		Авиант		НКМЗ	
Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	100,2	NPV, млн. \$	90	NPV, млн. \$	100,2
IRR, %	20,1	IRR, %	20,5	IRR, %	19,7	IRR, %	20,5
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Лугансктепловоз		НКМЗ		Авиант		НКМЗ	
КЗТС		КЗТС		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	93,3	NPV, млн. \$	103,5
IRR, %	19,8	IRR, %	17	IRR, %	19,4	IRR, %	20,2
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Турбоатом		НКМЗ		Турбоатом		НКМЗ	
КЗТС		КЗТС		Порт "Южный"		Порт "Южный"	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	152,5	NPV, млн. \$	96,5
IRR, %	20,1	IRR, %	17	IRR, %	20,0	IRR, %	16,9
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Турбоатом		НКМЗ		Лугансктепловоз		НКМЗ	
Авиант		Авиант		Порт "Южный"		Порт "Южный"	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	90	NPV, млн. \$	34	NPV, млн. \$	155,8	NPV, млн. \$	96,5
IRR, %	19,7	IRR, %	16,6	IRR, %	19,7	IRR, %	16,9
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
КЗТС		НКМЗ		Авиант		НКМЗ	
Порт "Южный"		Порт "Южный"		Порт "Южный"		Порт "Южный"	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	87,8	NPV, млн. \$	96,5	NPV, млн. \$	86,3	NPV, млн. \$	96,5
IRR, %	16,5	IRR, %	16,9	IRR, %	16,1	IRR, %	16,9
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65

Таблица 2 - Проверка параметра диверсификации «массовость производства» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

Худшее значение		Лучшее значение		Худшее значение		Лучшее значение	
Фотон		Фиолент		Очистные сооруж-я		Швейная фабрика	
Сэлма		Сэлма		Фиолент		Фиолент	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	15,4	IRR, %	17,5	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. V), %	45,6	$\sigma$ (К ч. V), %	15,8	$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	9,2
Фиолент		Фиолент		Швейная фабрика		Швейная фабрика	
Фотон		Сэлма		Очистные сооруж-я		Благоустр-во пляжа	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	1,9	NPV, млн. \$	10,8
IRR, %	16,5	IRR, %	17,5	IRR, %	17,2	IRR, %	19,2
$\sigma$ (К ч. V), %	39,0	$\sigma$ (К ч. V), %	15,8	$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	8,3
Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа		Очистные сооруж-я		Консервный завод	
Очистные сооруж-я		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	10,3	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,7	IRR, %	19,2	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. V), %	25,3	$\sigma$ (К ч. V), %	8,3	$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	9,2
Фиолент		Фиолент		Очистные сооруж-я		Посадка винограда	
Очистные сооруж-я		Благоустр-во пляжа		Фиолент		Фиолент	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,2	IRR, %	19,2	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	8,3	$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	9,2
Швейная фабрика		Швейная фабрика		Швейная фабрика		Швейная фабрика	
Очистные сооруж-я		Фиолент		Очистные сооруж-я		Консервный завод	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	1,9	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	1,9	NPV, млн. \$	2,4
IRR, %	17,2	IRR, %	18,6	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	9,2	$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	9,2
Швейная фабрика		Швейная фабрика		Фотон		Консервный завод	
Очистные сооруж-я		Посадка винограда		Сэлма		Сэлма	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	1,9	NPV, млн. \$	2,4	NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	17,2	IRR, %	18,6	IRR, %	15,4	IRR, %	17,5
$\sigma$ (К ч. V), %	26,3	$\sigma$ (К ч. V), %	9,2	$\sigma$ (К ч. V), %	45,6	$\sigma$ (К ч. V), %	15,8
Фотон		Швейная фабрика		Фотон		Посадка винограда	
Сэлма		Сэлма		Сэлма		Сэлма	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	15,4	IRR, %	17,5	IRR, %	15,4	IRR, %	17,5
$\sigma$ (К ч. V), %	45,6	$\sigma$ (К ч. V), %	15,8	$\sigma$ (К ч. V), %	45,6	$\sigma$ (К ч. V), %	15,8

Из табл.2 видно, что критерий оптимальности по Парето по парам показателей « $\sigma$  – NPV» и « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем 14 представленным в табл.2 парам проектов.

Таблица 3 - Проверка параметра диверсификации «технологическая зависимость» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>		<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		КЗТС		Лугансктепловоз	
КЗТС		Авиант		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	93,3	NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	159,5
IRR, %	19,8	IRR, %	19,4	IRR, %	20,1	IRR, %	23,3
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
Лугансктеплов		Лугансктепловоз		КЗТС		НКМЗ	
КЗТС		НКМЗ		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	100,2
IRR, %	19,8	IRR, %	20,2	IRR, %	20,1	IRR, %	20,5
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
Лугансктеплов		Лугансктепловоз		КЗТС		Авиант	
КЗТС		Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	90
IRR, %	19,8	IRR, %	23,3	IRR, %	20,1	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		КЗТС		судостроит. "Океан"	
КЗТС		судостроит. "Океан"		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	95,7	NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	92,4
IRR, %	19,8	IRR, %	19,4	IRR, %	20,1	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
КЗТС		Лугансктепловоз		КЗТС		Лугансктепловоз	
НКМЗ		НКМЗ		Авиант		Авиант	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	25,3	NPV, млн. \$	93,3
IRR, %	17	IRR, %	20,2	IRR, %	16,2	IRR, %	19,4
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
КЗТС		Турбоатом		КЗТС		Турбоатом	
НКМЗ		НКМЗ		Авиант		Авиант	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	100,2	NPV, млн. \$	25,3	NPV, млн. \$	90
IRR, %	17	IRR, %	20,5	IRR, %	16,2	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
КЗТС		Авиант		КЗТС		НКМЗ	
НКМЗ		НКМЗ		Авиант		Авиант	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	34	NPV, млн. \$	25,3	NPV, млн. \$	34
IRR, %	17	IRR, %	16,6	IRR, %	16,2	IRR, %	16,6
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50
КЗТС		судостроит. "Океан"		КЗТС		судостроит. "Океан"	
НКМЗ		НКМЗ		Авиант		Авиант	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	36,4	NPV, млн. \$	25,3	NPV, млн. \$	26,2
IRR, %	17	IRR, %	16,6	IRR, %	16,2	IRR, %	15,8
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	50

Из табл.3 видно, что критерий оптимальности по Парето по парам показателей « $\sigma - NPV$ » и « $\sigma - IRR$ » выполняется по всем 16 представленным в табл.3 парам проектов.

Таблица 4 - Проверка параметра диверсификации «степень конкуренции и стабильность продаж» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>		<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Порт "Южный"	
НКМЗ		Порт "Южный"		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	155,8	NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	155,8
IRR, %	20,2	IRR, %	19,7	IRR, %	23,3	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	52,9	$\sigma$ , %	32,6	$\sigma$ , %	60,4	$\sigma$ , %	47,3
Лугансктепловоз		Порт "Южный"		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз	
НКМЗ		НКМЗ		Турбоатом		Порт "Южный"	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	96,5	NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	155,8
IRR, %	20,2	IRR, %	16,9	IRR, %	23,3	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	52,9	$\sigma$ , %	39,8	$\sigma$ , %	60,4	$\sigma$ , %	32,6
НКМЗ		Порт "Южный"		КЗТС		Порт "Южный"	
Турбоатом		Турбоатом		НКМЗ		НКМЗ	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	155,8	NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	96,5
IRR, %	20,2	IRR, %	19,7	IRR, %	17	IRR, %	16,9
$\sigma$ , %	67,5	$\sigma$ , %	47,3	$\sigma$ , %	60,0	$\sigma$ , %	39,8
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		НКМЗ		Порт "Южный"	
КЗТС		Порт "Южный"		КЗТС		КЗТС	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	155,8	NPV, млн. \$	35,5	NPV, млн. \$	87,8
IRR, %	19,8	IRR, %	19,7	IRR, %	17	IRR, %	16,5
$\sigma$ , %	52,9	$\sigma$ , %	32,6	$\sigma$ , %	60,0	$\sigma$ , %	39,8
КЗТС		Порт "Южный"		Лугансктепловоз		Порт "Южный"	
Турбоатом		Турбоатом		КЗТС		КЗТС	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	155,8	NPV, млн. \$	94,8	NPV, млн. \$	87,8
IRR, %	19,8	IRR, %	19,7	IRR, %	19,8	IRR, %	16,5
$\sigma$ , %	67,5	$\sigma$ , %	47,3	$\sigma$ , %	52,9	$\sigma$ , %	39,8
Турбоатом		Порт "Южный"		Турбоатом		Порт "Южный"	
НКМЗ		НКМЗ		КЗТС		КЗТС	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	100,2	NPV, млн. \$	96,5	NPV, млн. \$	91,5	NPV, млн. \$	87,8
IRR, %	20,5	IRR, %	16,9	IRR, %	20,1	IRR, %	16,5
$\sigma$ , %	67,5	$\sigma$ , %	39,8	$\sigma$ , %	62,5	$\sigma$ , %	39,8

Из табл.4 видно, что критерий оптимальности по Парето по парам показателей « $\sigma - NPV$ » и « $\sigma - IRR$ » выполняется по всем 12 представленным в табл.4 парам проектов.

Из табл.5 видно, что критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma - NPV$ » выполняется по 10 из 16 представленных в табл.5 пар проектов, т.е. в 62% случаев. Причиной является разница между NPV проектов, превышающая 50%. В то же время, согласно табл.5, критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma - IRR$ » выполняется по всем представленным в табл.5 парам проектов.

Таблица 5 - Проверка параметра диверсификации «тип экономической важности» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>		<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>	
Лугансктепловоз		НКМЗ		Лугансктепловоз		КЗТС	
Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	100,2	NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	91,5
IRR, %	23,3	IRR, %	20,5	IRR, %	23,3	IRR, %	20,1
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	70	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	70
Турбоатом		НКМЗ		Турбоатом		КЗТС	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	94,8
IRR, %	23,3	IRR, %	20,2	IRR, %	23,3	IRR, %	19,8
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	80	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	80
Лугансктепловоз		Авиант		судостроит. "Океан"		КЗТС	
Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	90	NPV, млн. \$	92,4	NPV, млн. \$	91,5
IRR, %	23,3	IRR, %	19,7	IRR, %	19,7	IRR, %	20,1
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	70
Турбоатом		Авиант		судостроит. "Океан"		КЗТС	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	93,3	NPV, млн. \$	95,7	NPV, млн. \$	94,8
IRR, %	23,3	IRR, %	19,4	IRR, %	19,4	IRR, %	19,8
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	85	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	80
Лугансктепловоз		Порт "Южный"		судостроит. "Океан"		Авиант	
Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	152,5	NPV, млн. \$	92,4	NPV, млн. \$	90
IRR, %	23,3	IRR, %	20,0	IRR, %	19,7	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	75
Турбоатом		Порт "Южный"		судостроит. "Океан"		Авиант	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	159,5	NPV, млн. \$	155,8	NPV, млн. \$	95,7	NPV, млн. \$	93,3
IRR, %	23,3	IRR, %	19,7	IRR, %	19,4	IRR, %	19,4
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	85	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	85
судостроит. "Океан"		НКМЗ		судостроит. "Океан"		Порт "Южный"	
Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом		Турбоатом	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	92,4	NPV, млн. \$	100,2	NPV, млн. \$	92,4	NPV, млн. \$	152,5
IRR, %	19,7	IRR, %	20,5	IRR, %	19,7	IRR, %	20,0
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	70	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	75
судостроит. "Океан"		НКМЗ		судостроит. "Океан"		Порт "Южный"	
Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз		Лугансктепловоз	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	95,7	NPV, млн. \$	103,5	NPV, млн. \$	95,7	NPV, млн. \$	155,8
IRR, %	19,4	IRR, %	20,2	IRR, %	19,4	IRR, %	19,7
$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	80	$\sigma$ , %	110	$\sigma$ , %	85

Таблица 6 - Проверка параметра диверсификации «объем единичной инвестиции» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>		<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>	
Фиолент		консервный завод		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		швейная фабрика		Сэлма		консервный завод	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,4	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	80	$\sigma$ , %	20	$\sigma$ , %	57,1	$\sigma$ , %	42,9
Фиолент		консервный завод		Фиолент		Консервный завод	
швейная фабрика		швейная фабрика		Сэлма		Сэлма	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	2,4	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	18,6	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	17,5
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	25	$\sigma$ , %	66,7	$\sigma$ , %	33,3
Сэлма		консервный завод		Фиолент		Фиолент	
швейная фабрика		швейная фабрика		Сэлма		Посадка винограда	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	2,4	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	66,7	$\sigma$ , %	33,3	$\sigma$ , %	57,1	$\sigma$ , %	42,9
Фиолент		швейная фабрика		Фиолент		Посадка винограда	
консервный завод		консервный завод		Сэлма		Сэлма	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	2,4	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	18,6	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	17,5
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	25	$\sigma$ , %	66,7	$\sigma$ , %	33,3
Сэлма		швейная фабрика		Фиолент		Посадка винограда	
консервный завод		консервный завод		Консервный завод		Консервный завод	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	2,4	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	2,4
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	18,6	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	66,7	$\sigma$ , %	33,3	$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	25
Фиолент		Фиолент		Сэлма		Посадка винограда	
Сэлма		швейная фабрика		консервный завод		консервный завод	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	2,4
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	57,1	$\sigma$ , %	42,9	$\sigma$ , %	66,7	$\sigma$ , %	33,3
Фиолент		швейная фабрика		Фиолент		Посадка винограда	
Сэлма		Сэлма		швейная фабрика		швейная фабрика	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	2,4
IRR, %	17,5	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	66,7	$\sigma$ , %	33,3	$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	25
Сэлма		Посадка винограда					
швейная фабрика		швейная фабрика					
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1				
NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	2,4				
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6				
$\sigma$ , %	66,7	%	33,3				



Из табл.6 видно, что критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma$  – NPV» выполняется по 12 из 15 представленных в табл.6 пар проектов, т.е. в 80% случаев. Причиной является разница между NPV проектов, превышающая 50%. В то же время, согласно табл.6, критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем парам проектов.

Таблица 7- Проверка параметра диверсификации «дефицит объемов инвестиций в отрасль» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

Худшее значение		Лучшее значение		Худшее значение		Лучшее значение	
Фиолент		Фиолент		Сэлма		Сэлма	
Сэлма		швейная фабрика		Фиолент		Посадка винограда	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	40
Сэлма		Сэлма		Фиолент		Фиолент	
Фиолент		швейная фабрика		Благоустр-во пляжа		Швейная фабрика	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	19,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	40	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		Консервный завод		Благоустр-во пляжа		Консервный завод	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	19,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	60	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	60
Сэлма		Сэлма		Фиолент		Фиолент	
Фиолент		Консервный завод		Благоустр-во пляжа		Посадка винограда	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2,6	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	19,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	35	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Фиолент		Фиолент		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа	
Сэлма		Посадка винограда		Фиолент		швейная фабрика	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	10,8
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	19,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	75	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Очистные сооруж-я		швейная фабрика		Очистные сооруж-я		Посадка винограда	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,2	IRR, %	18,6	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65
Фиолент		Фиолент		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа	
Очистные сооруж-я		консервный завод		Очистные сооруж-я		швейная фабрика	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	10,3	NPV, млн. \$	10,8
IRR, %	17,2	IRR, %	18,6	IRR, %	17,7	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	60	$\sigma$ , %	100	$\sigma$ , %	65

Из табл.7 видно, что критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma$  – NPV» выполняется по 8 из 14 представленных в табл.7 пар проектов, т.е. в 57% случаев. Причиной является разница между NPV проектов, превышающая 50%. В то же время, согласно табл.7, критерий оптимальности по Парето по паре показателей « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем представленным в табл.7 парам проектов.

Таблица 8 - Проверка параметра диверсификации «соотношение масштаба и сроков окупаемости проектов» на предмет оптимальности сочетания «риск - доход»

Худшее значение		Лучшее значение		Худшее значение		Лучшее значение	
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Очистные сооруж-я		Благоустр-во пляжа		Фотон		Благоустр-во пляжа	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	17,2	IRR, %	19,2	IRR, %	16,5	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	19,4	$\sigma$ , %	11,8	$\sigma$ , %	16,4	$\sigma$ , %	11,8
Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа	
Очистные сооруж-я		Фиолент		Фотон		Фиолент	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	10,3	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	10,2	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	17,7	IRR, %	19,2	IRR, %	17,1	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	18,0	$\sigma$ , %	11,8	$\sigma$ , %	14,9	$\sigma$ , %	11,8
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		Благоустр-во пляжа		Швейная фабрика		Благоустр-во пляжа	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	7,32	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	17,5	IRR, %	19,2	IRR, %	18,6	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	18,9	$\sigma$ , %	11,8	$\sigma$ , %	39,6	$\sigma$ , %	11,8
Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа	
Сэлма		Фиолент		Швейная фабрика		Фиолент	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	11	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	10,8	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	18,1	IRR, %	19,2	IRR, %	19,2	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	17,5	$\sigma$ , %	11,8	$\sigma$ , %	38,2	$\sigma$ , %	11,8
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Консервный завод		Благоустр-во пляжа		Посадка винограда		Благоустр-во пляжа	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	7,32	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	7,32	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	18,6	IRR, %	19,2	IRR, %	18,6	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	39,6	$\sigma$ , %	11,8	$\sigma$ , %	39,6	$\sigma$ , %	11,8

Из табл.8 видно, что критерий оптимальности по Парето по парам показателей « $\sigma$  – NPV» и « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем 10 представленным в табл.8 парам проектов.

Из табл.9 видно, что критерий оптимальности по Парето по парам показателей « $\sigma$  – NPV» и « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем 14 представленным в табл.9 парам проектов.

Таблица 9 - Проверка параметра диверсификации «соотношение сроков инвестиционной фазы и окупаемости проектов» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>		<b>Худшее значение</b>		<b>Лучшее значение</b>	
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		Благоустр-во пляжа		Фотон		Швейная фабрика	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	19,2	IRR, %	16,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	23,3	$\sigma$ , %	18,8	$\sigma$ , %	22,1	$\sigma$ , %	20,4
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Очистные сооруж-я		Благоустр-во пляжа		Сэлма		Консервный завод	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,2	IRR, %	19,2	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	20,6	$\sigma$ , %	18,8	$\sigma$ , %	23,3	$\sigma$ , %	20,4
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Фотон		Благоустр-во пляжа		Очистные сооруж-я		Консервный завод	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	16,5	IRR, %	19,2	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	22,1	$\sigma$ , %	18,8	$\sigma$ , %	20,6	$\sigma$ , %	20,4
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		Швейная фабрика		Фотон		Консервный завод	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	16,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ , %	23,3	$\sigma$ , %	20,4	$\sigma$ , %	22,1	$\sigma$ , %	20,4
Фиолент		Фиолент		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа	
Очистные сооруж-я		Швейная фабрика		Очистные сооруж-я		Швейная фабрика	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	10,3	NPV, млн. \$	10,8
IRR, %	17,2	IRR, %	18,6	IRR, %	17,7	IRR, %	19,2
$\sigma$ , %	20,6	$\sigma$ , %	20,4	$\sigma$ , %	17,9	$\sigma$ , %	17,7
Фотон		Фиолент		Фотон		Швейная фабрика	
Сэлма		Сэлма		Сэлма		Сэлма	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	15,4	IRR, %	17,5	IRR, %	15,4	IRR, %	17,5
$\sigma$ , %	23,5	$\sigma$ , %	23,3	$\sigma$ , %	23,5	$\sigma$ , %	21,8
Сэлма		Фиолент		Фотон		Консервный завод	
Фотон		Фотон		Сэлма		Сэлма	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	2,6
IRR, %	15,4	IRR, %	16,5	IRR, %	15,4	IRR, %	17,5
$\sigma$ , %	23,5	$\sigma$ , %	22,1	$\sigma$ , %	23,5	$\sigma$ , %	21,8

Из табл.10 видно, что критерий оптимальности по Парето по парам показателей « $\sigma$  – NPV» и « $\sigma$  – IRR» выполняется по всем 12 представленным в табл.10 парам проектов.

Таблица 10 - Проверка параметра диверсификации «степень совокупного риска проектов» на предмет оптимальности сочетания «риск – доход»

Худшее значение		Лучшее значение		Худшее значение		Лучшее значение	
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Фотон		Сэлма		Фотон		Очистные сооруж-я	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0
NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	6,8
IRR, %	16,5	IRR, %	17,5	IRR, %	16,5	IRR, %	17,2
$\sigma$ (К ч. ср.), %	52,2	$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	52,2	$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,5
Фотон		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		Сэлма		Очистные сооруж-я		Благоустр-во пляжа	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	2	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	6,8	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	15,4	IRR, %	17,5	IRR, %	17,2	IRR, %	19,2
$\sigma$ (К ч. ср.), %	62,9	$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,5	$\sigma$ (К ч. ср.), %	11,5
Фиолент		Фиолент		Очистные сооруж-я		Фиолент	
Фотон		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа		Благоустр-во пляжа	
К-т диверсиф.	-1	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	6,7	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	10,3	NPV, млн. \$	15,7
IRR, %	16,5	IRR, %	19,2	IRR, %	17,7	IRR, %	19,2
$\sigma$ (К ч. ср.), %	52,2	$\sigma$ (К ч. ср.), %	11,5	$\sigma$ (К ч. ср.), %	22,6	$\sigma$ (К ч. ср.), %	11,5
Фиолент		Фиолент		Очистные сооруж-я		Фиолент	
Сэлма		Благоустр-во пляжа		Швейная фабрика		Швейная фабрика	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	15,7	NPV, млн. \$	1,9	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	19,2	IRR, %	17,2	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	11,5	$\sigma$ (К ч. ср.), %	26,0	$\sigma$ (К ч. ср.), %	15,0
Очистные сооруж-я		Благоустр-во пляжа		Фиолент		Фиолент	
Швейная фабрика		Швейная фабрика		Сэлма		Консервный завод	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	1,9	NPV, млн. \$	10,8	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,2	IRR, %	19,2	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. ср.), %	26,0	$\sigma$ (К ч. ср.), %	8,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	18,4
Фиолент		Фиолент		Фиолент		Фиолент	
Сэлма		Швейная фабрика		Сэлма		Посадка винограда	
К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1	К-т диверсиф.	0	К-т диверсиф.	1
NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3	NPV, млн. \$	7,5	NPV, млн. \$	7,3
IRR, %	17,5	IRR, %	18,6	IRR, %	17,5	IRR, %	18,6
$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	15,0	$\sigma$ (К ч. ср.), %	29,1	$\sigma$ (К ч. ср.), %	15,0

### Выводы

Из 10 параметров диверсификации, проверяемых на предмет оптимальности по Парето сочетания «риск - доходность», по шести выявлена полная сходимость со значениями коэффициентов диверсификации, еще по одному параметру – на 80%, что может считаться удовлетворительным. Таким образом, по 70% параметров диверсификации подтверждена сходимость оптимальных значений сочетания «риск – доходность» и наилучших значений коэффициентов диверсификации. Это подтверждает действенность предложенной нами системы показателей диверсификации портфеля инвестиционных проектов.

В то же время по таким параметрам диверсификации как «степень разнообразия ассортимента», «дефицит объемов инвестиций в отрасль», «тип экономической

важності» виявлена неполная сходимость значений « $\sigma - NPV$ » со значениями коэффициентов диверсификации: 50%, 57% и 62% соответственно. Анализ данных табл.1–10 показал, что это обусловлено существенной, более 50% разницей между NPV сравниваемых пар проектов. Тем не менее, по этим трем параметрам диверсификации наблюдается полная сходимость значений « $\sigma - IRR$ » со значениями коэффициентов диверсификации. Так что вывод, сделанный выше по поводу действенности предложенной системы показателей диверсификации по портфелю инвестиционных проектов, остается в силе.

Отклонения, обнаруженные по перечисленным выше трем параметрам, считаем целесообразным использовать как ограничения, накладываемые на систему показателей диверсификации портфеля проектов. Это ограничение предлагаем сформулировать следующим образом. Если разница между NPV сравниваемых пар проектов превышает 50%, то необходимо найти и сравнить между собой значения риска ( $\sigma$ ) по этим парам проектов. Если разница между проектами по риску ( $\sigma$ ) превышает разницу между этими же проектами по NPV, то сравнение пар проектов по значениям коэффициентов диверсификации является объективным. В противном случае пара проектов с наибольшим значением NPV будет наилучшей и с точки зрения диверсификации.

**Список литературы:** 1. Крушвиц Л. Инвестиционные расчеты. [текст] / Л. Крушвиц. –С-Пб.: Питер, 2001г. -235с. 2. Ванюшкин А. С. Управление портфелями проектов на микро и на макро уровне: [монография]. / А. С. Ванюшкин. –Симферополь, ТНУ им. В. И. Вернадского, 2012. -354с. 3. Ванюшкин А. С. Банк проектного финансирования и диверсификация рисков. / А. С. Ванюшкин. // Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Інформаційні технології та управління проектами. –Одеса. -2012. Вип. 4. –с.102 – 111.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК: 65.012.25

**Доказательства действенности показателей диверсификации портфеля инвестиционных проектов/ А. С. Ванюшкин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 39-53. – Бібліогр.: 3 назв.**

У статті виконано комплекс розрахунків, який доводить дійсність запропонованих автором раніше 10 параметрів диверсифікації портфелю на прикладі 70 пар інвестиційних проектів, при цьому попутно вирішено проблему уточнення способу визначення ризику по кожному із показників диверсифікації портфелю проектів.

**Ключові слова:** портфель інвестиційних проектів, диверсифікація, ризику, доходність.

In the article, there has been executed the complex of calculations, which proves the validity of 10 parameters of portfolio diversification, proposed earlier by the author, on the example of 70 couples of investment projects, alongside with it, there has been solved the problem of clarifying method of determining risk, corresponding each parameter of project's portfolio diversification.

**Keywords:** portfolio of investment projects, diversification, risks, profitability.

УДК 519.7

**І. А. РЕВЕНЧУК**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЕ

## **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАНЬ ПРИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D ОБ'ЄКТІВ**

Робота присвячена вирішенню проблем генерації тривимірних сцен за сценарієм користувача. Метою роботи є дослідження математичних моделей геометричних перетворень при візуалізації 3D об'єктів.

© І. А. РЕВЕНЧУК, 2013

**Ключові слова:** тривимірний простір, афінні перетворення, однорідні координати.

## Вступ

Існуючі системи побудови об'єктів тривимірної графіки мають потужну функціональність для створення тривимірних сцен.

## Аналіз літературних даних і постановка задачі

Генерації зображень і сцен за сценарієм користувача не вирішена в повному обсязі, що не дозволяє використовувати редактори 3D графіки для вирішення завдань генерації тривимірних сцен [1, 2]. У зв'язку з цим в роботі проаналізовані математичні моделі геометричних перетворень при візуалізації 3D об'єктів.

**Геометричні перетворення** - це перетворення геометричних об'єктів у просторі. Існує три основні афінні перетворення на площині.

Будь-яке інше афінне перетворення може бути представлено суперпозицією цих основних перетворень.

а) поворот навколо початку координат на кут  $\varphi$ , описується формулами:

$$X^* = x \cos \varphi - y \sin \varphi, \quad Y^* = x \sin \varphi + y \cos \varphi$$

б) розтягування (стиснення) уздовж координатних осей (відносно початку координат):  $X^* = \delta x$  та  $Y^* = \lambda y$ , де  $\delta, \lambda > 0$  - коефіцієнти розтягування (масштабування);

в) перенесення на вектор  $(\lambda, \mu)$   $X^* = x + \lambda, Y^* = y + \mu$ .

## Однорідні координати

В тривимірному просторі будь-який вектор  $\vec{w}$  можна представити у вигляді лінійної комбінації трьох лінійно незалежних векторів  $\vec{w} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$ , де скаляри  $a, b$  і  $c$  – компоненти (координати) вектора  $\vec{w}$  в базисі  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ . Вектори, що утворюють базис, визначають конкретну систему координат. Для однозначного завдання точки необхідно визначити точку відліку  $P_0$  – початок координат. У сукупності вектора базису і точка відліку називають фреймом. У конкретному фреймі будь-який вектор однозначно описують:  $\vec{w} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$ .

Для будь-якої точки  $P$  в тому ж фреймі є співвідношення:  $P = P_0 + x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ .

Таким чином, будь-який вектор описується у фреймі трьома скалярами (координатами), а опис точки включає три скаляра і дані про точку відліку.

Нехай є два базиси:  $\{v_1, v_2, v_3\}$  і  $\{u_1, u_2, u_3\}$ . Кожен вектор першого базису можна представити у другому базисі і навпаки. Отже, існує дев'ять компонент  $\{\gamma_{ij}\}$  таких, що:  $u_1 = \gamma_{11}v_1 + \gamma_{12}v_2 + \gamma_{13}v_3$ ;  $u_2 = \gamma_{21}v_1 + \gamma_{22}v_2 + \gamma_{23}v_3$ ;  $u_3 = \gamma_{31}v_1 + \gamma_{32}v_2 + \gamma_{33}v_3$ . Матриця

$$M = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \end{pmatrix}, \text{ співвідношення між компонентами: } \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}. \text{ Матриця } M \text{ містить}$$

інформацію, необхідну для зміни представлення вектора з одного базису до іншого.

Нехай є вектор  $\vec{w}$ , який в базисі  $\{v_1, v_2, v_3\}$  має подання  $\{a_1, a_2, a_3\}$ , тобто:

$$\vec{w} = \vec{a} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}, \text{ де } \vec{a} = (a_1, a_2, a_3). \text{ Припустимо, що вектор } \vec{b} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3) \text{ є подання}$$

вектора  $\vec{w}$  в базисі  $\{u_1, u_2, u_3\}$ . Таким чином, отримаємо співвідношення:

$$\vec{w} = \vec{b} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = \vec{b} \cdot M \cdot \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \vec{a} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Звернемо увагу на те, що зміна базису не зачіпає положення точки початку координат, тому плоскопаралельний зсув кадру або перенесення початку координат таким способом уявити не можна. Для вирішення цієї проблеми вводять однорідні координати (homogeneous coordinates), в яких для представлення точок і векторів у тривимірному просторі використовується чотиривимірний вектор. Будь-яку точку  $P$  в фреймі, що заданий набором параметрів  $(v_1, v_2, v_3, P_0)$ , можна однозначно представити співвідношенням:

$$P = P_0 + a_1 v_1 + a_2 v_2 + a_3 v_3 \quad (2)$$

Визначимо на множині точок операцію множення скалярів 0 і 1 на точку:  $0 \times P = 0$ ,  $1 \times P = P$ .

Тоді вираз (2) можна записати так:  $P = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ P_0 \end{pmatrix}$

Чотиривимірні матриця-рядок в правій частині рівняння є однорідними координатами точки  $P$  у фреймі, заданому параметрами  $(v_1, v_2, v_3, P_0)$ . Вектор в цьому

ж кадрі буде виглядати так:  $\vec{w} = \begin{pmatrix} \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ P_0 \end{pmatrix}$ .

Отже, формальний апарат однорідних координат дозволяє виконувати операції над точками і векторами за допомогою звичайних операцій лінійної алгебри. У цьому випадку проблема зміни фреймів (1) буде вирішуватися просто.

Нехай маємо два фрейми:  $\{v_1, v_2, v_3, P_0\}$  і  $\{u_1, u_2, u_3, Q_0\}$ . Тоді вектори базиса другого фрейма и його початок координат можна виразити так:

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ Q_0 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ P_0 \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & 0 \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & 0 \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & 0 \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & 1 \end{pmatrix}$$

### Афінні перетворення у просторі

Поступаючи аналогічно тому, як це було зроблено в двовимірному просторі і застосовуючи апарат однорідних координат опишемо базові афінні перетворення, до яких можна звести будь-які інші більш складні перетворення, використовувані в комп'ютерній графіці.

а) поворот навколо осей координат кадру. Існує три матриці, що задають відповідно обертання навколо осі абсцис, ординат і аплікату:

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_y = \begin{pmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_z = \begin{pmatrix} \cos \chi & -\sin \chi & 0 & 0 \\ \sin \chi & \cos \chi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

б) матриця розтягування (стиснення) наводиться у формулі  $D = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ , де

коефіцієнти  $\alpha, \beta, \gamma$  висловлюють розтягування уздовж осей абсцис, ординат і аплікват відповідно;

в) матриця переносу на вектор  $(\lambda, \mu, \nu)$  приводиться в  $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \lambda & \mu & \nu & 1 \end{pmatrix}$ .

Наведені матриці дозволяють виконувати відповідні Афінні перетворення в однорідних координатах у вигляді множення матриць:  $P_{new} = P_{old} \cdot Matrix$ , де  $P_{old}$  – однорідні координати до перетворення;  $P_{new}$  – однорідні координати після перетворення;  $Matrix$  – матриця перетворення.

### Візуалізація та растрове перетворення

Візуалізація полягає у відображенні об'єктів сцени на екрані. При цьому необхідно використовувати опис камери або спостерігача. Об'єкти задаються в світовому фреймі, а камера має свій власний фрейм, який задає її положення і орієнтацію. Тому для отримання зображення на екранній площині спочатку необхідно конвертувати світові координати об'єктів в координати кадру камери, а потім виконати проектування на екранну площину і отримане зображення представити на растровому екрані.

Крім того використовують алгоритми відсікання зображень, частина яких не потрапила у вид камери. Після виконання перетворення координат у фрейм камери і відсікання проектують видимі об'єкти на екранну площину за допомогою алгоритмів видалення невидимих частин [2, 3].

Растрове перетворення - це завершальний етап побудови зображення, коли двовимірний опис об'єкта зображають на растровому екрані, тобто заповнюють буфер кадру відповідними значеннями кодів засвічення пікселя.

Растрове перетворення відрізків можна реалізувати за алгоритмом Брезенхема, який просто реалізувати апаратно.

### Висновок

Формальний апарат однорідних координат дозволяє виконувати операції над точками і векторами за допомогою звичайних операцій лінійної алгебри.

Важливою перевагою використання однорідних координат в тривимірній комп'ютерній графіці є те, що всі афінні перетворення при використанні подання в однорідних координатах виконуються одноманітно - за допомогою множення матриць. Це дає можливість просто організувати послідовне виконання складних перетворень в конвеєрі, а також реалізувати більшість цих операцій апаратно, що значно підвищить швидкість обробки.



**Список літератури:** 1. *Эйнджел, Э.* Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL [Текст] : пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 592 с. 2. *Херн, Д.* Компьютерная графика и стандарт OpenGL = Computer Graphics with OpenGL [Текст] / Д. Херн, М. Паулин Бейкер. - 3-е изд. - М.: Вильямс, 2005. - 1168с. 3. *Гук, М* Трехмерная графика в персональном компьютере [Текст] // М. Гук.- КомпьютерИнфо, (СПб).-1998. – С. 29–38.

*Надійшла до редколегії 20.01.2013*

УДК 519.7

**Математичні моделі геометричних перетворювань при візуалізації 3D об'єктів/І. А. Ревенчук//** Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 53-57. – Бібліогр.:3 назв.

Работа посвящена решению проблем генерации трехмерных сцен по сценарию пользователя. Целью работы является исследование математических моделей преобразований при визуализации 3D объектов

**Ключевые слова:** аффинные преобразования, однородные координаты.

The article is devoted to solving the problem of a three-dimensional scene on the script user. The aim is to study the mathematical model of transformation when rendering 3D objects.

**Keywords:** affine transformations, homogeneous coordinates.

УДК 691.397

**В. Б. БАЛЯР**, заст. директора з НР, Інститут радіо, телебачення та електроніки  
Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса

### **СУБ'ЄКТИВНО-СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОЇ ЯКОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ DVB-T2 НА РІВНІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ**

В статті представлено результати суб'єктивно-статистичної оцінки технічної якості роботи системи DVB-T2 при проведенні її на рівні транспортного потоку MPEG-2 за різних умов приймання сигналів цифрового телевізійного мовлення. Проведено детальний аналіз наслідків погіршення умов приймання на рівні транспортного потоку з урахуванням відмінностей в його структурі та запропоновано можливі технічні рішення щодо підвищення оперативності та ефективності системи моніторингу якості роботи мережі цифрового мовлення. Іл.: 7. Бібліогр.:7. назв.

**Ключові слова:** DVB-T2, MPEG-2 TS, вимірювання, пріоритет помилки, суб'єктивне погіршення, Matlab.

#### **Вступ**

Важливою складовою обслуговування мережі цифрового мовлення є контроль якості функціонування окремих її вузлів та мережі в цілому. Однією з задач, що вирішується під час контролю якості функціонування мережі є моніторинг характеристик транспортного потоку, що є достатньо надійними показниками якості функціонування служби цифрового мовлення та дозволяє реалізувати моніторинг на достатньо високому рівні надійності.

До цього часу в напрямку контролю технічної якості функціонування на рівні транспортного потоку MPEG-2 проведено ряд досліджень. Серед робіт в цьому напрямку, кількість яких вкрай обмежено, можливо відзначити роботи [1-2]. В роботі [1] висвітлено проблему визначення якості обслуговування (QoS) для послуг цифрового телебачення з застосуванням підходу, базованого на аналізі транспортного потоку MPEG-2. Стаття [1] висвітлює ті підходи, що їх використано Проектом DVB під час обґрунтування параметрів, що підлягають вимірюванню в системах

© В. Б. БАЛЯР, 2013



невірно відновленими значеннями відліків сигналів яскравості та кольорорізнцевих сигналів або їх просторово-часовому зсуві в сусідніх кадрах відеопослідовності. Більш детально ці спотворення в відеопотоці MPEG проаналізовано автором в публікаціях [3-4].

Для суб'єктивно-статистичної оцінки якості функціонування системи цифрового мовлення на рівні транспортного потоку використано модель системи DVB-T2, що її побудовано автором в середовищі моделювання Matlab та його розширенні Simulink. Принципи обробляння в цій моделі відповідають базовим стандартам з системи DVB-T2 [5-6].

Схема лабораторної установки, що її побудовано для експерименту, відповідає наведеній на рис. 2. Вимірювання здійснювалися при шістьох відношеннях сигнал/шум, які відповідали різним значенням помилок коефіцієнта BER після декодера BCH (від  $10^{-2}$  до  $10^{-7}$ ). Під час вимірювання використано 4 транспортні потоки MPEG-2 TS, характеристики (склад службової інформації, швидкість цифрового потоку) яких відповідають типовим.

За результатами проведеного дослідження побудовано графічні залежності, які характеризують якість функціонування системи на рівні транспортного потоку MPEG-2 при різних значеннях коефіцієнту помилок бітів. Ці графічні залежності надано на рис. 3-6.

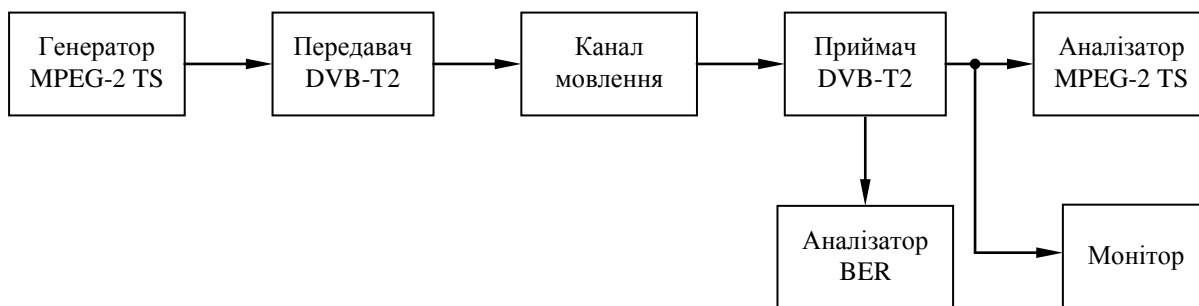


Рис. 2 – Схема лабораторної установки

На рис. 3-5 надано розподіл виникнення помилок першого пріоритету в транспортному потоці France в часі для різних значень коефіцієнту помилок бітів (BER) на вході демультимплексора MPEG.

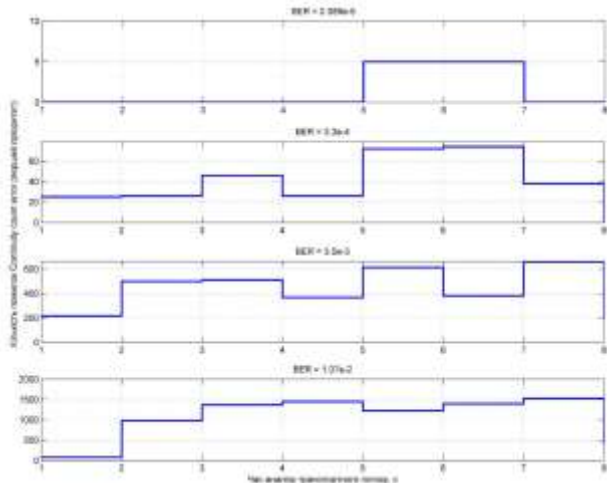


Рис. 3 – Розподіл виникнення помилок Continuity\_count\_error в часі за різних BER в каналі мовлення для транспортного потоку France

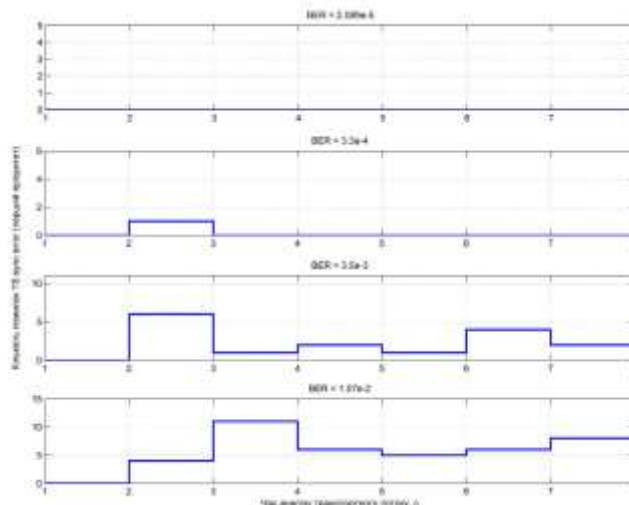


Рис. 4 – Розподіл виникнення помилок TS\_sync\_error в часі за різних BER в каналі мовлення для транспортного потоку France

З всіх помилок для ілюстрування загального характеру прояву спотворень на рівні транспортного потоку MPEG-2 TS розглянуто помилки першого пріоритету типу `Continuity_count_error` (помилка в лічильнику безперервності – пріоритет 1.4), `PAT_error` (помилки в таблиці об'єднання програм – пріоритет 1.3) та `TS_sync_error` (втрата синхронізації потоку MPEG-2 TS – пріоритет 1.1). Окрім того, проаналізовано помилки `Transport_error` (помилка в пакеті транспортного потоку – пріоритет 2.1), `CRC_error` (помилка поля CRC таблиць PSI/SI – пріоритет 2.2) та `CAT_error` (помилка в таблиці CAT – пріоритет 2.6), але часові діаграми в цій статті для них не приведено.

З отриманих часових діаграм для помилок `Continuity_count_error`, `PAT_error` та `TS_sync_error` видно, що максимальна кількість помилок кожного з типів є різною (від приблизно 1500 помилок до 1-2 помилок). Це викликано періодичністю передавання відповідного елемента службової інформації.

Так, наприклад, значення лічильника безперервності передають в кожному пакеті транспортному потоці. Саме тому помилки цього типу виникають частіше, ніж інші з розглянутих типів. Рідше виникають помилки типу `PAT_error`, але це не говорить про меншу їх важливість – навпаки, в разі виникнення цієї помилки відновлення будь-яких програмних потоків з багатопрограмного транспортного потоку стає неможливим. Частота появи цих помилок викликана тим, що інформацію таблиці PAT передають не постійно, а через певний період часу (не частіше ніж 0,5 с).

Узагальнення результатів спостереження під час аналізу помилок різних типів для чотирьох транспортних потоків (що їх умовно позначено DVBT2, France, TNT та Lux) приведено на рис. 6.

З графіків видно, що розподіл помилок в часі та їх кількість для інших транспортних потоків відрізняється від значень, що їх отримано для потоку France, що викликано відмінностями в структурі та побудові обох транспортних потоків. Однак приблизне співвідношення помилок різних пріоритетів й типів зберігається та зі збільшенням пріоритету помилки їх кількість (як абсолютна, так й відносна) зменшується.

Зі збільшенням BER кількість помилок різних пріоритетів збільшується, що буде призводити до порушень в прийманні та декодуванні сигналів служби телевізійного мовлення, а також, в разі пошкодження безпосередньо інформації щодо змісту окремих відеокадрів, до неможливості декодування окремих ділянок або навіть всього зображення одного чи декількох відеокадрів. Причому загальна кількість помилок кожного типу буде зменшуватись зі зменшенням BER в каналі. Під час моделювання практично були відсутні помилки третього пріоритету, що

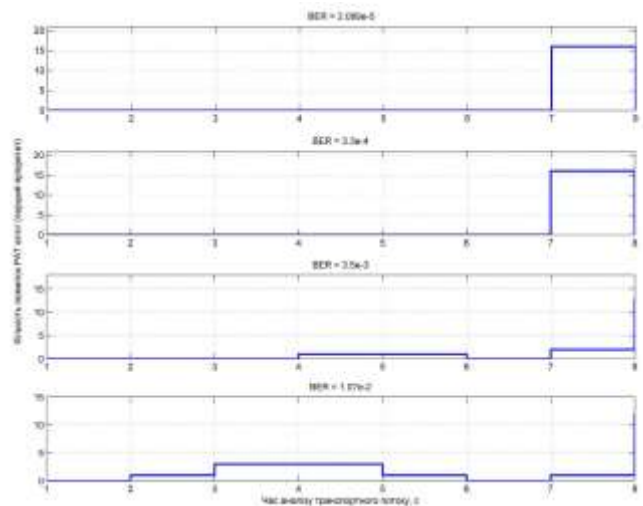


Рис. 5 – Розподіл виникнення помилок `PAT_error` в часі за різних BER в каналі мовлення для транспортного потоку France

відповідає визначеному в стандарті ETSI TR 101 290 – помилки цього пріоритету зустрічаються вкрай рідко.

На рис. 7 приведено окремий кадр з відеопослідовності, що її передають в транспортному потоці DVBT2, при різних значеннях BER. За значення  $BER = 6,8 \cdot 10^{-2}$  відеопослідовність значним чином пошкоджена й практично є не декодованою (див. рис. 7а).

Однією з причин цього може бути неможливість відновлення окремого елементарного потоку відео з транспортного потоку внаслідок пошкодження таблиці PAT або втрати синхронізації під час приймання транспортного потоку. Ще однією причиною цього може бути пошкодження або втрата таблиці PMT, що визначає фактично метод декодування окремих елементарних потоків. Із зменшенням BER видимі спотворення на зображенні зменшуються (див. рис. 7а-7г) та практично відсутні при величинах  $BER \leq 1 \cdot 10^{-6}..1 \cdot 10^{-7}$ .

Використовуючи відеокадри, приведені на рис. 5, можливо визначити орієнтовну кількість помилок кожного з пріоритетів, за якої зниження технічної якості функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення буде знаходитись в припустимих нормах.

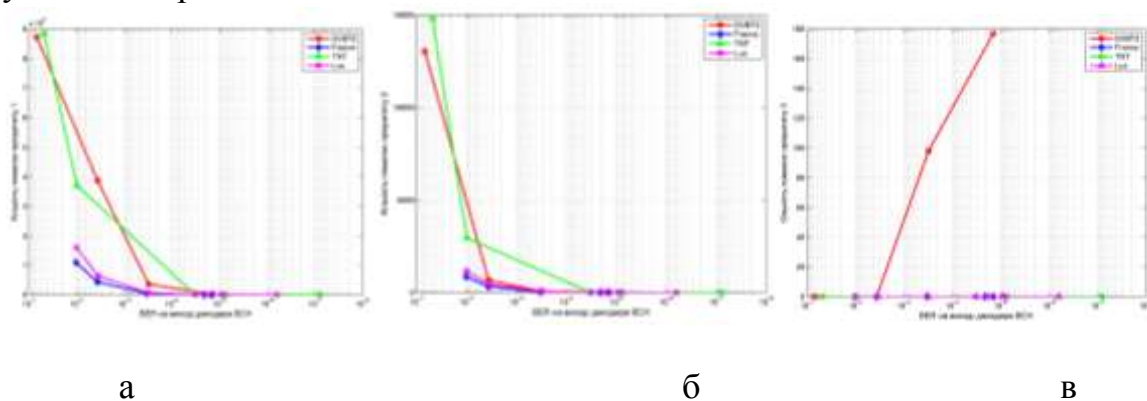


Рис. 6 – Результати статистичного аналізу виникнення в транспортних потоках помилок з пріоритетами: а - перший пріоритет б - другий пріоритет в - третій пріоритет

При цьому наявність помилок того або іншого типу буде вказувати на ланку наскрізного тракту, де потенційно могли виникнути несправності. Останнє може бути реалізовано за допомогою вбудованого випробувального субпотоків, що його передають разом з програмними потоками в транспортному потоці [7].

Під час проведення аналізу будемо визначати два типи порогових

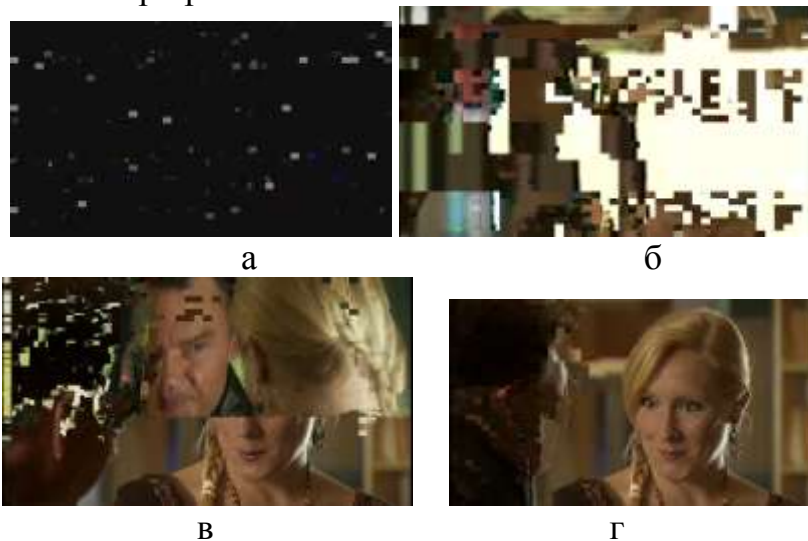


Рис. 7 - Фрагменти відеопослідовностей транспортного потоку DVBT2 за значень коефіцієнту BER: а -  $BER = 6,8 \cdot 10^{-2}$  б -  $BER = 3,6 \cdot 10^{-3}$  в -  $BER = 3,04 \cdot 10^{-4}$  г -  $BER = 3,95 \cdot 10^{-5}$

значень –кумулятивна та миттєва порогова кількість помилок кожного з пріоритетів. Миттєва порогова кількість помилок буде визначати кількість помилок, за якого виникають значні погіршення під час декодування/ відтворення зображення на екрані відео контрольного пристрою, що будуть призводити до зниження суб'єктивної оцінки якості. Кумулятивна порогова кількість помилок, що будемо визначати шляхом додавання помилок різних типів одного пріоритету за певний інтервал часу спостереження, буде характеризувати загальну технічну якість функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення за проміжок часу спостереження. Її може бути використано для спостереження загальної динаміки змінення технічної якості функціонування з метою своєчасного попередження виникнення несправностей.

Для визначення миттєвої порогової кількості помилок будемо використовувати діаграми, приклад яких приведено на рис. 3-5, а для кумулятивної порогової кількості помилок – рис. 6.

Таким чином, на базі використання критерію наявності суб'єктивного погіршення при декодуванні зображення, що викликано спотвореннями в каналі мовлення, можливо стверджувати, що найбільш ефективним при моніторингу є контроль кількості помилок першого та другого пріоритетів. При цьому, якщо кумулятивна кількість помилок другого пріоритету на інтервалі 8 секунд в середньому більше або дорівнює 500-700 помилок (наприклад, для пріоритету 2.1), тоді це вказує на суттєве погіршення технічної якості роботи служби цифрового телевізійного мовлення та  $BER \geq 1 \cdot 10^{-3}$  - зображення буде практично не декодованим. Якщо кількість на протязі інтервалу спостереження є не більшою за 2-7 помилок другого пріоритету (див. табл. 1) – це свідчить про періодичне переривання в прийманні сигналу цифрового телевізійного мовлення та, в принципі, є припустимим й така кількість помилок є пороговою. Однак за навіть незначного перевищення цього порогу має бути проведено детальний аналіз в напрямку виявлення можливих причин появи помилок цього типу.

Для помилок першого пріоритету порогові значення є дещо іншими - наявність приблизно  $8.2 \cdot 10^4$  помилок пріоритету 1.4 свідчить про величину  $BER \geq 1 \cdot 10^{-3}$ , а припустимим є приблизно 10-50 помилок (див. табл.).

Більша припустима (порогова) кількість помилок в останньому випадку не свідчить про меншу їх важливість під час оцінки якості функціонування служби цифрового телевізійного мовлення – наявність помилок першого та другого пріоритетів приводять до різних наслідків під час відновлення програмного та/чи транспортного потоків. Більш того необхідно зазначити, що незначне перевищення порогу щодо кількості помилок пріоритету 1 найбільш вірогідно буде призводити до неможливості будь-якої успішної обробки багатопрограмного транспортного потоку взагалі (тобто усіх потоків одночасно) в той час як при аналогічній ситуації для помилок пріоритету 2 – лише до неможливості декодування певних програмних потоків або їх окремих елементарних потоків.

Помилки пріоритету 3 не можуть бути використано для оперативного виявлення суттєвого погіршення якості приймання або функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення. Це викликано тим, що на протязі практично всього інтервалу спостереження для всіх транспортних потоків помилки цього пріоритету були відсутні.

Таблиця – Статистика виникнення помилок різних пріоритетів

Параметр	Значення							
Миттєва порогова кількість помилок відповідного пріоритету								
Назва TS	France		TNT		DVBT2		Lux	
BER	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$
пріоритет 1.4	658	5	2574	20	1685	16	1433	0
пріоритет 1.3	2	16	1	0	3	0	6	0
пріоритет 1.1	6	0	11	0	9	0	14	0
пріоритет 2.1	50	2	361	3	96	3	97	0
пріоритет 2.2	1	0	2	0	4	0	12	0
пріоритет 2.6	1	0	2	0	4	0	0	0
Кумулятивна порогова кількість помилок відповідного пріоритету								
пріоритет 1.4	3243	10	12404	59	11956	39	5395	0
пріоритет 1.3	3	16	4	0	10	0	13	0
пріоритет 1.1	16	0	40	0	49	0	41	0
пріоритет 2.1	295	2	1663	7	640	5	355	0
пріоритет 2.2	1	0	7	0	2	0	38	0
пріоритет 2.6	1	0	6	0	2	0	0	0

Якщо ж говорити про миттєві порогові кількості помилок, то в середньому припустимим для помилок першого пріоритету є 5-20 помилок за одиничний інтервал спостереження, а для другого пріоритету – 2-3 помилок. За цих значень не буде спостерігатись суттєвого погіршення сприйманої якості зображення та прояв порогового ефекту буде відсутній досить тривалий час.

### Висновки

Моніторинг технічної якості функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення є невід'ємною складовою технічної експлуатації. Основною задачею, що має бути вирішено під час моніторингу, є оперативне виявлення порушень в роботі вузлів мережі та/або своєчасне передбачення виникнення несправностей. Однак ця задача ускладнюється внаслідок наявності будь-яких норм на припустиму величину помилок, що можуть виникати в транспортному потоці під час розподілу первинною та/або вторинною мережами цифрового телевізійного мовлення. Саме вирішенню цієї проблеми й присвячено цю статтю. В процесі досліджень, результати яких приведено в цій статті, побудовано математичну модель наскрізного тракту системи DVB-T2, дано оцінку статистиці виникнення помилок різних пріоритетів в транспортних потоках з різною структурою, встановлено зв'язок між кількісними показниками та суб'єктивною якістю декодованого зображення, визначено припустимі рівні помилок різних пріоритетів з детальним аналізом їх критичності по відношенню до вислідної технічної якості. Отримані результати можуть бути використані під час сертифікаційних, пуско-налагоджувальних робіт та при проведенні поточних вимірювань в процесі технічної експлуатації, а також під час наукових досліджень в напрямку подальшого підвищення ефективності систем моніторингу якості функціонування мереж цифрового мовлення в стандарті DVB-T2 на рівні транспортного потоку MPEG-2.

**Список літератури:** 1. *Dominique Méry* The challenge of QoS for digital television services/ Dominique Méry, Dominique Cansell, Cyril Proch, Denis Abraham, Patrick Ditsch// EBU Technical Review. – 2005. - № 302. – р. 1-11. 2. Цифрове телевізійне мовлення. Характеристики системи передавання. Настанови щодо виконання вимірювань (ETSI TR 101 290: 2001, IDT): ДСТУ ETSI

TR 101 290: 2006. - [Чинний від 2006-04-01]. - К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 166 с. - (Національний стандарт України). 3. *Баляр В. Б.* Оцінка погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку MPEG/ В.Б. Баляр// Цифрові технології. – 2011. - № 10. – С.70-78. 4. *Баляр В. Б.* Аналіз впливу спотворень в мобільному каналі на якість функціонування систем зі стисненням MPEG/ В. Б. Баляр, М. В. Мазур// Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. - № 1. – С. 122-131. 5. Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI EN 302 755. – Sophia, France: ETSI, 2009. – 164 p. 6. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI TR 102 831. – Sophia, France: ETSI, 2010. – 217 p. 7. Цифрове телевізійне мовлення. Канал передавання випробувальних і вимірювальних сигналів системи DVB, вбудований у транспортний потік MPEG-2. Загальні технічні вимоги (ETSI TR 101 291: 1998, IDT): ДСТУ ETSI TR 101 291: 2009. - [Чинний від 2011-01-01]. - К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 37 с. - (Національний стандарт України).

*Надійшла до редколегії 20.02.2013*

УДК 691.397

**Суб'єктивно-статистична оцінка технічної якості роботи системи DVB-T2 на рівні транспортного потоку / В.Б. Баляр // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 53-64. – Бібліогр.: 7 назв.**

В статті представлені результати суб'єктивно-статистическої оцінки технічного якості роботи системи DVB-T2 при проведенні її на рівні транспортного потоку MPEG-2 в різних умовах прийма сигналів цифрового телевізійного мовлення. Проведен детальний аналіз наслідків погіршення умов прийому на рівні транспортного потоку з урахуванням відмінностей в його структурі і запропоновані можливі технічні рішення по підвищенню оперативності і ефективності системи моніторингу якості роботи мережі цифрового мовлення.

**Ключевые слова:** DVB-T2, MPEG-2 TS, измерения, приоритет ошибки, субъективное ухудшение, Matlab.

In article the results of subjective-statistical estimation of DVB-T2 technical operational quality on MPEG-2 transport stream in different reception conditions of digital television broadcasting are presented. Detail analysis of receiving condition degradation on transport stream level with consideration its structure is conducted. Possible technical solutions on increasing of operability and efficiency for monitoring system of operation quality of digital broadcasting networks are proposed.

**Keywords:** DVB-T2, MPEG-2 TS, measurements, error priority, subjective degradation, Matlab.

УДК: 005.53:655

**И. В. ЛЕВЫКИН**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков;

**А. И. ХОРОШЕВСКИЙ**, аспирант, ХНУРЭ, Харьков

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА СУС ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УДАЛЁННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИЗДАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ**

В статье моделируется процесс выбора системы управления содержимым (СУС) для разработки на её базе удалённой информационной аналитической издательской системы (УИАИС). Выбор базируется на основании двух циклов управления процессом определения наиболее важных критериальных групп и их элементного состава с возможностью усечения элементов, являющихся низкоприоритетными.

**Ключевые слова:** систему управления содержимым, удалённая информационная аналитическая издательская система, полиграфическое предприятие, метод обработки экспертной информации, теория статистики.

© И. В. ЛЕВЫКИН, А. И. ХОРОШЕВСКИЙ, 2013



## **Вступление**

Одним из факторов, способствующих развитию современных полиграфических предприятий, повышению их конкурентоспособности, является внедрение и использование удаленных информационных аналитических издательских систем (УИАИС). Как было отмечено в [1, 2, 3], данные системы позволяют автоматизировать процессы приёма заказов, оформления и утверждения макетов печатной продукции; сократить время выполнения заказа, снизить вероятность возникновения ошибки на начальном этапе производства, упростить выполнение повторных заказов и заказов с малым количеством изменений в макете изделия, а также освободить сотрудников предприятия от процедуры согласования заказа. Это, в свою очередь, уменьшает затраты предприятий за счёт того, что заказчик при помощи УИАИС самостоятельно выполняет некоторые функции, которые ранее выполнялись непосредственно сотрудниками предприятия. Встроенная в систему функциональная возможность проверки макета позволяет автоматически выявить те изображения, которые не отвечают условиям печати. Наличие шаблонов даёт возможность контролировать использование фирменной символики. Клиент может подключить к работе над заказом профессионального дизайнера (на любом допечатном этапе). Важным преимуществом таких систем перед информационными системами автоматизации полиграфических предприятий является то, что дизайнеры и клиенты имеют доступ к личному и публичному каталогу шаблонов оформления макетов изделия с возможностью их изменения фактически до начала печати продукции. При этом клиенты могут утвердить макет без необходимости личного присутствия на предприятии, в типографии.

Вышеперечисленное обеспечивает легкую интеграцию заказчика в процесс оформления и работы над заказом, высокую степень удобства, прозрачность функционирования и простоту понимания работы УИАИС (с позиции пользователя-заказчика). Однако, чтобы всё это было реализовано в системе, необходимо обеспечить её полное и логически правильное наполнение содержимым (контентом), что, в свою очередь, говорит об актуальности исследования вопроса, касающегося процесса рационального выбора системы управления содержимым (СУС) [4], которая и обеспечивает (с позиции разработчика УИАИС) правильный, целостный и логически понятный пользователю конечный результат работы УИАИС.

### **Анализ последних исследований и литературы**

Стоит отметить, что на рынке программных продуктов, в основном зарубежном, существует большое количество готовых УИАИС [2]. Однако, с позиции их практического применения на отечественных полиграфических предприятиях, данные системы обладают рядом существенных недостатков: высокая стоимость готовых УИАИС препятствует их приобретению малыми и средними полиграфическими предприятиями Украины; разработанные УИАИС, как правило, требуют дорогостоящего аппаратного обеспечения (серверов); отсутствие методик создания УИАИС на основе бесплатного или недорогого программного обеспечения и отсутствие образцов типизированного технического задания для написания программных модулей УИАИС усложняет процесс разработки подобных систем.

В работе [5] рассмотрены три подхода к решению проблемы внедрения на предприятии УИАИС: приобрести готовую УИАИС, заказать разработку УИАИС под свои конкретные задачи и разработать УИАИС на основании готовой СУС. Следует отметить тот факт, что существующие УИАИС, как правило, созданы на базе собственных СУС и, как следствие, сложно расширяемы. Что касается разработки

УИАИС на основании готовой СУС, то в данном направлении авторами работ [1, 2, 6 – 8] была проведена теоретическая проработка, результатом которой стал перечень требований к УИАИС (например, наличие функций системы управления содержимым, возможности персонализации, средств электронной коммерции, подтверждения технологического процесса, интеграции, интерфейса взаимодействия и т. д.), которым, как продуцирующее звено, и должна удовлетворять СУС. Однако, вопрос, касающийся разработки конкретного инструментария для осуществления процесса выбора СУС, как основы для разработки УИАИС, так и остался открытым. Этот факт и обосновывает актуальность исследования в данном направлении.

### **Цель исследования, постановка проблемы**

Целью данной статьи является моделирование процесса выбора СУС, которая рассматривается как основа для разработки УИАИС.

Научная новизна исследования заключается в возможности выбора СУС на основе введения 2-х циклов управления процессом определения наиболее важных критериальных групп и их элементного состава с возможностью усечения элементов, являющихся низкоприоритетными.

Исследование базируется на использовании такого экономико-математического инструментария: методы обработки экспертной информации (на основе метода ранжирования) [9], теория статистики (на основе метода группировки) [10] и методы многокритериальной оптимизации (на основе метода свертывания критериев) [11].

### **Материалы исследования**

В основе выбора СУС лежит процесс принятия решения о целесообразности использования конкретной СУС для реализации на её базе УИАИС.

Процесс моделирования разделяется на 4 этапа, каждый из которых содержит последовательность соответствующих действий, необходимых для реализации принятия решения о выборе конкретной СУС:

этап 1: анализ видов СУС и формирование критериальной базы;

этап 2: управление процессом усечения множества критериальных групп (в рамках цикла №1 (Ц1) – анализ весомости критериальных групп);

этап 3: определение низкоприоритетных критериев в составе критериальных групп (в рамках цикла №2 (Ц2) – анализ веса критериев в группах);

этап 4: определение функции полезности и выбор СУС.

Рассмотрим содержательное наполнение данных этапов.

**Этап 1.** На данный момент существует два вида систем СУС (далее, альтернатив  $A_i^v$ , при  $i = \overline{1, s}$ ,  $v = \overline{1, 2}$ , где  $i$  – порядковый номер системы,  $v$  – вид системы):  $A_i^{v=1}$  – коммерческие (системы с закрытым исходным кодом) и  $A_i^{v=2}$  – некоммерческие или бесплатные (системы с открытым исходным кодом). Стоит отметить, что именно второй вид систем даёт возможность использовать как платные, так и бесплатные расширения для решения тех или иных функциональных задач. Как правило, для  $A_i^{v=2}$  существует большое количество различных расширений, не обязательно платных. Также, если сама система уже много лет (7 и более) на рынке программного обеспечения, то для неё существует множество локализаций и документации.

Проанализировав основные преимущества и недостатки систем управления содержимым  $A_i^{v=2}$  по сравнению с коммерческими проектами [8, 12, 13], можно сказать, что к основным преимуществам относятся:

1) *высокое качество кода;*

- 2) *целевая заинтересованность;*
- 3) *решение проблемы использования;*
- 4) *финансовая привлекательность;*
- 5) *функциональная расширяемость.*

К основным недостаткам следует отнести:

- 1) *ограничение на форматы;*
- 2) *неразвитость систем обучения и сертификации.*

Данные недостатки не уменьшают информационной ценности систем второго вида ( $A_i^{v=2}$ ), а качество кода, целевая заинтересованность, решение проблемы использования, финансовая привлекательность и функциональная расширяемость подтверждают рациональность выбора систем данного вида.

После определения вида систем, которые будут участвовать в исследовании, необходимо сформировать перечень критериев для выбора  $A_i^{v=2}$ .

Для формирования перечня критериев, который будет фигурировать в рамках данного исследования, проанализируем существующие точки зрения на содержательный аспект выделяемых критериев. Например, авторами [8, 12, 13] основной акцент был сделан на следующих критериях выбора:

- 1) *поисковая оптимизация (SEO);*
- 2) *расширяемость и масштабируемость;*
- 3) *функциональность;*
- 4) *системные требования;*
- 5) *стоимость;*
- 6) *развитие системы;*
- 7) *наличие справочной системы и обучающих материалов;*
- 8) *возможность написания собственных расширений.*

При сравнении нескольких наиболее популярных в Украине СУС (Joomla, Mambo, Drupal, WordPress, Bitrix) по формальным критериям на Cmsmatrix [14], а также на официальных сайтах производителей СУС, были предложены следующие десять групп критериев выбора: 1) системные требования, 2) безопасность, 3) поддержка, 4) лёгкость использования, 5) производительность, 6) управление, 7) возможность взаимодействия, 8) возможности по настройке, 9) встроенные расширения, 10) коммерция. Каждая из выделенных групп, в свою очередь, была детализирована на элементарные составляющие. Исследуя функциональное наполнение данных групп, можно ответить, что всё выделенное ранее авторами [8, 12, 13] в рамках групп, предложенных Cmsmatrix [14], агрегировалось и детализировалось, т.е. находило своё отображение.

Обобщая результаты исследований авторов [8, 12 – 14], был сформирован перечень критериев выбора (далее, критериев  $K_j^g$ , при  $g = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , где  $g$  – номер группы критериев,  $j$  – порядковый номер критерия в группе) для систем типа  $A_i^{v=2}$ , положенный в основу данного исследования. В качестве альтернатив для выбора  $A_i^{v=2}$  были взяты: Drupal ( $A_{i=1}^{v=2}$ ), Joomla ( $A_{i=2}^{v=2}$ ), Mambo ( $A_{i=3}^{v=2}$ ) и WordPress ( $A_{i=4}^{v=2}$ ).

В табл. 1 приведен фрагмент перечня критериев для двух групп.

*Пояснения к обозначениям в таблице:* «Да» – реализуется; «Нет» – не реализуется; «Рас.» – расширение, означает, что непосредственно в СУС такой функциональной возможности нет, но её реализация возможна путём установки

дополнительного бесплатного расширения; «Огран.» – ограничено, указывает на то, что данная функциональная возможность присутствует в системе с ограничениями по возможностям её использования; «За доп. плату» – за дополнительную плату (присутствует в полной таблице критериев), означает, что данная функциональная возможность может быть представлена в системе при условии покупки необходимого расширения.

Смысловое значение реализованности критериев («Да», «Нет», «Рас.», «Огран.», «За доп. плату») по СУС в дальнейшем (будет рассмотрено на этапе 4 данного исследования) предлагается интерпретировать через конкретное числовое представление.

Таблица 1 - Фрагмент перечня критериев выбора систем вида  $A_i^{v=2}$

Критерии \ Системы	Drupal	Joomla	Mambo	WordPress	
№	наименование критерия	$(A_{i=1}^{v=2})$	$(A_{i=2}^{v=2})$	$(A_{i=3}^{v=2})$	$(A_{i=4}^{v=2})$
Группа «Возможности по настройке» ( $K_{j=1,9}^{g=8}$ )					
1	Поддержка режима CGI	Да	Да	Нет	Нет
2	Перемещение содержимого	Огран.	Да	Огран.	Нет
3	Расширяемые профили пользователя	Да	Да	Рас.	Рас.
4	Локализация интерфейса	Да	Да	Да	Да
5	Метаданные	Да	Да	Да	Да
6	Многоязычное содержание	Да	Рас.	Рас.	Рас.
7	Многоязычная интеграция содержимого	Да	Рас.	Рас.	Рас.
8	Поддержка нескольких сайтов	Да	Рас.	Рас.	Нет
9	Поддержка перенаправления URL	Да	Да	Да	Да
Группа «Коммерция» ( $K_{j=1,7}^{g=10}$ )					
1	Управление товарами	Рас.	Рас.	Рас.	Нет
2	Подключение платёжных систем	Рас.	Рас.	Рас.	Нет
3	Подключение модулей доставки	Рас.	Рас.	Рас.	Нет
4	Подключение расчётов налогов	Рас.	Рас.	Рас.	Нет
5	Корзина	Рас.	Рас.	Рас.	Нет
6	Подписки	Рас.	Рас.	Рас.	Нет
7	Списки пожеланий	Рас.	Рас.	Нет	Нет
...					

Полный перечень критериев по всем 10 рассматриваемым группам является достаточно объемным (165 критериев), что сильно утяжеляет процесс его дальнейшего анализа и обработки. Поэтому актуальным является вопрос уменьшения набора критериальных групп и их элементного состава таким образом, чтобы оставить наиболее информативные из  $K_j^g$ . Этому процессу и посвящен следующий этап данного исследования.

**Этап 2.** Управление процессом усечения множества критериальных групп  $\hat{E}_j^g$  осуществляется в соответствии со следующей последовательностью шагов (от

формирования экспертной группы, которая будет работать с критериями, до усечения критериальных групп и проверки согласованности мнений экспертов и статистической значимости ранжировки). В качестве экспертов выступают специалисты, имеющие информацию о рассматриваемой задаче, но не несущие непосредственно ответственности за результат её решения [9, с. 11].

**Шаг 1.** Процедура формирования множества экспертов  $\{G_{b=1, \overline{c}}\}$  осуществляется на основе оценки их профессиональной компетентности в областях знаний, соответствующих выделенным критериальным группам  $K_j^g$  ( $K_j^1$  – системные требования,  $K_j^2$  – безопасность,  $K_j^3$  – поддержка,  $K_j^4$  – лёгкость использования,  $K_j^5$  – производительность,  $K_j^6$  – управление,  $K_j^7$  – возможность взаимодействия,  $K_j^8$  – возможности по настройке,  $K_j^9$  – встроенные расширения,  $K_j^{10}$  – коммерция). Как отмечают авторы [9, с. 139]: «целесообразно включать в группу от 10 до 20 человек. Возможны отклонения, как в сторону увеличения, так и уменьшения». Для учета степени отклонения введем параметр  $\Delta = 2$ . Таким образом, количество экспертов в группе будет находиться в диапазоне:

$$10 \pm \Delta \leq \{G_{b=1, \overline{c}}\} \leq 20 \pm \Delta \quad (1)$$

Процедура подбора начинается с формирования опросных листов, в которых каждый эксперт отмечает свою степень владения знаниями (sv) в конкретной области (табл. 2), т.е. производит самооценку по шкале от 0 до 1 с шагом = 0,25.

Таблица 2 - Шкала для оценивания степени владения экспертами  $\{G_{b=1, \overline{c}}\}$  знаниями по критериальным группам ( $K_j^g$ )

Значение	Содержательное наполнение
$sv = 1$	b-й эксперт полностью владеет необходимыми знаниями для участия в процессе анализа g-й области знаний
$sv = 0,75$	b-й эксперт в высокой степени владеет необходимыми знаниями для принятия участия в процессе исследования множества g-й области знаний
$sv = 0,5$	b-й эксперт занимался вопросами, которые касаются данной области знаний, поэтому может принимать участие в анализе отдельных элементов
$sv = 0,25$	b-й эксперт в низкой степени владеет необходимыми знаниями, чтобы принимать участие в анализе g-й области знаний
$sv = 0$	b-й эксперт не владеет вопросами в рамках данной области знаний, чтобы принимать участие в анализе данной группы

Расчет суммарного уровня компетентности экспертов ( $Sum(G_b)$ ) по областям знаний, соответствующим критериальным группам, предлагается выполнять по формуле (2):

$$Sum(G_b) = \sum_{g=1}^n \sum_{vop=1}^x sv_{g \ vop} , \quad (2)$$

где  $Sum(G_b)$  – суммарный уровень компетентности b-го эксперта по совокупности g-ых критериальных групп;

vop – количество вопросов в рамках каждой их g-ых групп ( $vop = \overline{1, x}$ );

$sv$  – степень владения знаниями в предметной области критериальной группы, при  $0 \leq sv \leq 1$ .

Решение о включении эксперта в экспертную группу принимается, если справедливо неравенство  $Sum(G_b) \geq SR_b$ . Значение средней оценки компетентности экспертов ( $SR_b$ ) предлагается определять по формуле (3):

$$SR_b = \frac{SO_b}{c}, \text{ при } SO_b = \sum_b^c Sum(G_b), \quad (3)$$

где  $SO_b$  – суммарная оценка компетентности экспертов;

$c$  – количество экспертов.

В случае, когда количество человек в экспертной группе не находится в диапазоне, представленном формулой (1), или уровень компетентности эксперта меньше среднего по группе, принимается решение о продолжении процесса формирования экспертной группы. Иначе, группу считаем сформированной и переходим к следующему шагу исследования.

Пример полученного на основании вышеприведенных формул сводного опросного листа приведен в табл. 3.

Таблица 3 - Фрагмент сводного опросного листа по областям знаний экспертов

Эксперты, {G <sub>b=1,10</sub> }	Кол-во вопросов в области знаний, vop				Суммарный уровень компетент- ности экспертов, Sum(G <sub>b</sub> )	Включение/ исключение из группы экспертов
	Степень владения знаниями по K <sub>j</sub> <sup>g</sup>					
	vop(K <sub>j</sub> <sup>1</sup> ) $\sum_{vop=1}^{10} sv_{vop}$	vop(K <sub>j</sub> <sup>2</sup> ) $\sum_{vop=1}^8 sv_{vop}$	...	vop(K <sub>j</sub> <sup>10</sup> ) $\sum_{vop=1}^7 sv_{vop}$		
G <sub>1</sub>	10 4	8 3,25	...	7 1,25	27	-
G <sub>2</sub>	10 3,75	8 2	...	7 3,25	32	+
...	...	...	...	...	...	...
G <sub>10</sub>	10 4,25	8 3,75	...	7 2,5	30,25	+
Суммарная оценка компетентность экспертов, SO <sub>b</sub>					288,85	
Средняя оценка компетентность экспертов, SR <sub>b</sub>					28,885	

**Шаг 2.** Сформированная экспертная группа принимает участие в процессе экспертизы базового множества критериальных групп. В результате проведения данной экспертизы будут получены коэффициенты весомости каждой из групп, которые в дальнейшем (на этапе №4) примут участие в процессе расчета функции полезности при выборе наиболее подходящей альтернативы из множества  $A_i^{v=2}$ . Для определения весовых коэффициентов используется метод обработки экспертной информации (а именно, метод ранжирования – строгое ранжирование) [9, С. 144–147].

Обоснование выбора данного метода базируется на том, что в процессе ранжирования отсутствует ситуация, когда необходимо одновременно учитывать несколько признаков, по которым ведется оценивание объекта, отсутствует

расстояние между оценками, представляет интерес только взаимное упорядоченное расположение объектов, отсутствуют исходные статистические данные. Учитывая изложенное, считаем целесообразным использование метода ранжирования (вид – строгое ранжирование).

Допущения экспертного оценивания:

- 1) эксперты изолированы один от другого;
- 2) обратная связь отсутствует.

Результирующие оценки (независимые мнения), предоставляемые экспертами  $\{G_{b=1, c}\}$ , группируются в соответствующей таблице, фрагмент которой приведен ниже (табл. 4).

Таблица 4 - Определение результирующих рангов и весов критериальных групп

Критериальные группы, $K_j^g$	Эксперты, $\{G_{b=1,10}\}$										Сумма рангов, $\sum_{b=1}^c x_{gb}$	Результирующий ранг, R	Вес, $V_g$
	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>	G <sub>9</sub>	G <sub>10</sub>			
$K_j^1 \mapsto K_1$	2	1	1	1	2	1	3	3	1	2	17	1	0,0309
$K_j^2 \mapsto K_2$	4	9	8	7	5	5	8	6	8	6	66	7	0,1200
$K_j^3 \mapsto K_3$	6	7	5	5	8	7	6	8	7	9	68	8	0,1236
$K_j^4 \mapsto K_4$	10	8	10	9	10	10	9	9	10	8	93	10	0,1691
$K_j^5 \mapsto K_5$	1	3	3	2	1	4	2	1	5	1	23	2	0,0418
$K_j^6 \mapsto K_6$	5	4	6	8	7	3	7	5	4	7	56	5	0,1018
$K_j^7 \mapsto K_7$	3	2	2	4	6	6	4	2	6	5	40	4	0,0727
$K_j^8 \mapsto K_8$	7	6	7	6	4	8	5	10	3	4	60	6	0,1091
$K_j^9 \mapsto K_9$	8	5	4	3	3	2	1	4	2	3	35	3	0,0636
$K_j^{10} \mapsto K_{10}$	9	10	9	10	9	9	10	7	9	10	92	9	0,1673
Сумма рангов, $\sum_{g=1}^n \sum_{b=1}^c x_{gb}$ :											550		$\sum_{g=1}^n V_g = 1$

Результаты опроса экспертов сводятся в таблицу, где на пересечении g-й строки и b-го столбца проставляются ранги. Чем больше значение в ячейке  $x_{bj}^g$ , тем важнее (по мнению эксперта) группа. Так как на данном этапе исследования j-е элементы критериальных групп не принимают участие в расчетных операциях, то на основе использования логического оператора в правилах вывода – переписывания ( $\mapsto$ ) [15], сделаем следующее упрощение записи для критериальных групп:  $x_{bj}^g \mapsto x_{gb}$  (базируясь на этом, будет справедлива и следующая запись:  $K_j^g \mapsto K_g$ ). При этом, чем выше результирующий ранг (R), тем важнее критериальная группа.

Расчет коэффициентов весомости  $V_g$  по всем оценочным значениям  $x_{gb}$  выполняется по следующей формуле:

$$V_g = \frac{\sum_{b=1}^c x_{gb}}{\sum_{g=1}^n \sum_{b=1}^c x_{gb}}, \quad (4)$$

где  $V_g$  – коэффициент весомости  $g$ -й критериальной группы (при  $n$  – количество групп,  $c$  – количество экспертов, принимающих участие в оценке).

Таким образом, в результате экспертизы базового множества критериальных групп определяются их коэффициенты весомости. Значения коэффициентов свидетельствуют о важности их учета при выборе СУС.

Для уменьшения информационного пространства групп, которые будут включены в процесс принятия решения про выбор СУС, предлагается определить наиболее важные из групп, а те, которые не обладают информационной ценностью, соответственно, исключить из дальнейшего анализа. Исходя из сформированного авторами [16, С. 305] вывода о том, что 90% от общей совокупности анализируемых элементов (критериев) являются абсолютно достаточными для дальнейшего рассмотрения, анализа и принятия решения, остановимся на следующих критериальных группах:  $K_2, K_3, K_4, K_6, K_7, K_8, K_{10}$ , суммарная весомость которых составила 0,8636. И, соответственно, исключим из рассмотрения группы:  $K_1, K_5, K_9$  суммарной весомостью 0,1364.

**Шаг 3.** После того, как из исследования были исключены наименее значимые группы, необходимо выполнить пересчет весомости для оставленных в исследовании наиболее значимых критериальных групп. Расчет приведенных весовых коэффициентов значимых групп выполняется по формуле:

$$PV_h = \frac{V'_z}{\sum_{z=1}^h V'_z} \quad (5)$$

где  $PV_h$  – приведенный коэффициент весомости критериальной группы;

$h$  – число наиболее значимых критериальных групп (при  $h \in 1, g$ );

$V'_z$  – коэффициенты весомости для наиболее значимых критериальных групп (выделенных на предыдущем шаге исследования, при  $V_g \mapsto V'_z$ ).

Результаты расчета приведенных коэффициентов весомости наиболее значимых групп представлены в таблице 5.

**Шаг 4.** Для подтверждения того, что мнения экспертов являются согласованными, а не случайными распределениями рангов, производится вычисление коэффициента конкордации ( $W$ ), введенного М. Кендаллом. Значение коэффициента  $W$  находится в интервале от 0 до 1, при этом, чем значение ближе к 1, тем выше согласованность мнений в экспертной группе.

Основываясь на [9, С. 144–145], коэффициент  $W$  для строгого ранжирования предлагается рассчитывать по формуле:

$$W = \frac{12 \sum_{z=1}^h [S_z - S_{sred}]^2}{C^2 (h^3 - h)}, \quad (6)$$



где  $S_z$  – сумма рангов, данная экспертами по каждой значимой критериальной группе (при  $z = \overline{1, h}$ ,  $h \in \overline{1, g}$ ), которая рассчитывается как:

$$S_z = \sum_{b=1}^c x_{zb} \cdot \quad (7)$$

$S_{sred}$  – среднее значение рангов, рассчитываемое по формуле:

$$S_{sred} = \sum_{z=1}^h S_z / h, \quad (8)$$

$h$  – число наиболее значимых критериальных групп;

$c$  – число экспертов (при  $\{G_{b=\overline{1, c}}\}$ ).

Таблица 5 - Приведенные весовые коэффициенты значимых критериальных групп

Значимые критериальные группы	Коэффициенты весомости, $V'_z$	Приведенный вес, $PV_h$
K <sub>2</sub>	0,1200	0,1389
K <sub>3</sub>	0,1236	0,1432
K <sub>4</sub>	0,1691	0,1958
K <sub>6</sub>	0,1018	0,1179
K <sub>7</sub>	0,0727	0,0842
K <sub>8</sub>	0,1091	0,1263
K <sub>10</sub>	0,1673	0,1937
Суммы:	0,8636	1,0000

Рассчитаем коэффициент конкордации. В соответствии с данными, приведенными в табл. 4, суммы  $S_z$  значимых критериальных групп равны:

$S_{z=1} = 93$  (для группы K<sub>4</sub>);

$S_{z=2} = 92$  (для группы K<sub>10</sub>);

$S_{z=3} = 68$  (для группы K<sub>3</sub>);

$S_{z=4} = 66$  (для группы K<sub>2</sub>);

$S_{z=5} = 60$  (для группы K<sub>8</sub>);

$S_{z=6} = 56$  (для группы K<sub>6</sub>);

$S_{z=7} = 40$  (для группы K<sub>7</sub>).

Значение  $S_{sred}$  составляет:  $(93+92+68+66+60+56+40)/7=67,8$ .

Подставляя значения в формулу(6), получаем:

$$W = \frac{12 * ((93 - 67,8)^2 + (92 - 67,8)^2 + (68 - 67,8)^2 + (66 - 67,8)^2 + (60 - 67,8)^2 + (56 - 67,8)^2 + (40 - 67,8)^2)}{10^2(343 - 7)} =$$

$$= \frac{12 * (635,04 + 585,64 + 0,04 + 3,27 + 60,83 + 139,24 + 772,84)}{100 * 336} = \frac{12 * 2196,9}{33600} = \frac{26362,8}{33600} = 0,78$$

Значение коэффициента конкордации ( $W=0,78$ ) говорит о том, что мнения экспертов в процессе определения важности критериальных групп для выбора СУС являются вполне согласованными.

**Шаг 5.** Для определения статистической значимости рассчитанного на предыдущем шаге значения  $W$  используем критерий  $\chi^2$ . Базируясь на [9, С. 146] примем, что  $C \cdot (h-1) \cdot W$  имеет  $\chi^2$ -распределение с  $h-1$  степенью свободы ( $st$ ) и вероятностью ошибки  $P_{ош} = 0,01$ . Вычисляя величину  $\chi^2$ , получим:  $10 \cdot 6 \cdot 0,78 = 46,8$ ,

при этом  $st = 6$ . По таблицам  $\chi^2$ -распределения [17] для  $st = 6$  значение  $\chi_{0,01}^2(6) = 16,81$ . Основываясь на том, что вычисленное значение  $\chi^2 = 46,8$  превышает табличное  $\chi_{0,01}^2 = 16,81$ , делается вывод, что полученная ранжировка статистически значима. Это в свою очередь означает, что мнения экспертов являются согласованными, а результаты ранжировки критериальных групп – корректны.

**Этап 3.** Входными данными для данного этапа являются наиболее значимые критериальные группы, в рамках которых и осуществляется определение низкоприоритетных критериев. Данные критерии предлагается исключить из дальнейшего рассмотрения в силу их малой ценности при выборе СУС. Для проведения экспертного оценивания элементов критериальных групп предлагается такая последовательность шагов.

**Шаг 1.** Экспертной группе предлагается определить вес критериев в каждой из выделенных на предыдущем этапе исследования значимых критериальных групп ( $K_g$ ), и поскольку на данном этапе будут рассмотрены не сами группы, а их элементный состав, рационально сделать обратное приведение вида:  $K_g \mapsto K_j^g$ , чтобы включить в рассмотрение множество  $j$ -х критериев в рамках каждой  $g$ -й группы. Таким образом, в исследовании участвуют группы со следующим количеством критериев (общее количество критериев по всей выборке = 85):  $K_{j=1,19}^{g=2}$  – безопасность,  $K_{j=1,15}^{g=3}$  – поддержка,  $K_{j=1,16}^{g=4}$  – легкость использования,  $K_{j=1,13}^{g=6}$  – управление,  $K_{j=1,6}^{g=7}$  – возможность взаимодействия,  $K_{j=1,9}^{g=8}$  – возможности по настройке,  $K_{j=1,7}^{g=10}$  – коммерция.

Для определения веса критериев экспертам был задан вопрос: «Какова важность критерия в процессе выбора СУС?». Для оценки ответов ( $U_{jb}^g$ ) экспертов ( $G_{b=1,10}$ ) предлагается использовать шкалу от 0 до 3 (0 – не важно, 1 – не очень важно, 2 – важно, 3 – очень важно). Для примера, результаты по группе «Возможности по настройке» ( $K_{j=1,9}^{g=8}$ ) имеют вид (табл. 6).

Средний ранг критерия ( $Q_j^g$ ) в рамках группы определяется по формуле:

$$Q_j^g = \frac{\sum_{b=1}^{10} U_{jb}^g}{c}, \quad (9)$$

где  $U_{jb}^g$  – оценка эксперта в таблице по  $g$ -й группе, которая стоит на пересечении  $j$ -й строки (при  $j = \overline{1, m}$ ,  $j$  – порядковый номер критерия в группе) и  $b$ -го столбца (при  $b = \overline{1, c}$ ,  $b$  – порядковый номер эксперта);

$c$  – количество экспертов в группе;

где  $SR_j^g$  – степень реализации критерия в группе (исходя из максимально возможной степени, когда все эксперты оценивают его, как «3 – очень важно»):

$$SR_j^g = \frac{\sum_{b=1}^c U_{jb}^g}{\max}, \quad (10)$$

где  $\max$  – максимально возможная степень реализации критерия, рассчитывается как произведение «3» (по шкале – «очень важно») • общее количество экспертов ( $c$ ), принимающих участие в оценивании:

$$\max = 3 \cdot c. \quad (11)$$

Таблица 6 - Оценивание критериальной группы «Возможности по настройке»  
( $K_{j=1,9}^{g=8}$ )

Эксперты Критерии	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>	G <sub>9</sub>	G <sub>10</sub>	$\sum_{b=1}^{10} U_{jb}^g$	С.ран $\Gamma Q_j^g$	Степень, $SR_j^g$
Поддержка режима CGI ( $K_{j=1}^{g=8}$ )	2	1	3	2	2	1	1	0	1	1	14	1,4	0,467
Перемещение содержимого ( $K_{j=2}^{g=8}$ )	2	1	1	3	2	2	1	3	2	1	18	1,8	0,600
Расширяемые профили пользователя ( $K_{j=3}^{g=8}$ )	2	2	2	0	0	2	3	0	3	1	15	1,5	0,500
Локализация интерфейса ( $K_{j=4}^{g=8}$ )	3	2	3	2	1	2	0	0	0	1	14	1,4	0,467
Метаданные ( $K_{j=5}^{g=8}$ )	3	2	3	1	0	1	3	3	0	3	19	1,9	0,633
Многоязычное содержание ( $K_{j=6}^{g=8}$ )	1	2	0	2	1	2	2	1	0	0	11	1,1	0,367
Многоязычная интеграция содержимого ( $K_{j=7}^{g=8}$ )	1	2	0	0	0	2	2	0	1	1	9	0,9	0,300
Поддержка нескольких сайтов ( $K_{j=8}^{g=8}$ )	1	3	2	1	2	0	3	3	1	3	19	1,9	0,633
Поддержка перенаправления URL ( $K_{j=9}^{g=8}$ )	3	2	3	2	0	1	2	0	1	0	14	1,4	0,467

В результате обработки данных (по  $Q_j^g$ ) по всем 7 группам был получен следующий ряд распределения (табл. 7).

Таблица 7 - Ряд распределения

	[0; 1]	[1; 2]	[2; 3]
Количество критериев	4	72	9

**Шаг 2.** После получения ряда распределения по всей выборке критериев, на основе использования формулы для определения величины равного интервала ( $In$ ) [10, С. 79], осуществляется расчет шага интервала:

$$In = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{kol} \quad (12)$$

где  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  – максимально и минимальное значение признака в ряде распределения;

$kol$  – количество интервалов.

Обоснование выбора формулы для расчета именно равного интервала базируется на том, что «если вариация признака проявляется в сравнительно узких границах и распределение носит более или менее равномерный характер, то строят группировку с равными интервалами» [10, С. 78].

Основываясь на формуле (12), получаем:  $In = (72-4)/3 = 22,66$ , округляя которое получаем  $In = 23$ . Как отмечено в [10, С. 79], округление до целого справедливо, когда «рассчитанная величина интервала имеет две значащие цифры до запятой и несколько знаков после запятой».

Определение шага дало возможность сформировать такие интервалы:

1 интервал: от 4 до 27;

2 интервал: от 27 до 50;

3 интервал: от 50 до 73.

После перевода в процентное представление получаем интервалы:

1 интервал: [0,054; 0,369);

2 интервал: [0,369; 0,685);

3 интервал: [0,685; 1].

**Шаг 3.** Основываясь на данных интервалах предлагаются следующие диапазоны для критериев:

$1 \geq SR_j^g \geq 0,685$  – диапазон высокого приоритета;

$0,685 > SR_j^g \geq 0,369$  – диапазон среднего приоритета;

$0,369 > SR_j^g \geq 0,054$  – диапазон низкого приоритета.

Данные диапазоны используются при определении важности включения критерия в процесс выбора СУС. Отмечу, что множество критериев, которые планируется использовать в процессе выбора СУС должно содержать только критерии, степень реализации ( $SR_j^g$ ) которых находится в диапазонах высокого и среднего приоритета. Критерии, значения которых попадают в диапазон с низким приоритетом, должны быть исключены из дальнейшего рассмотрения.

Так, базируясь на вышеизложенном, из дальнейшего рассмотрения в представленном примере (см. табл. 6) должны быть исключены критерии: «Многоязычное содержание ( $SR_{j=6}^g = 0,367$ ) < 0,369» и «Многоязычная интеграция содержимого ( $SR_{j=7}^g = 0,300$ ) < 0,369».

**Этап 4.** Для интерпретации реализованности критериев по СУС (фрагмент приведен в табл. 1) с целью перевода их качественной характеристики в количественное представление предлагается всем значениям «Да» присвоить «1»,

«Нет» присвоить «0», а значениям «Рас.», «Огран.» и «За доп. плату» присвоить «0,5», формально обозначив данный параметр  $PL_j^g$ .

Определённые на предыдущих этапах и шагах процесса моделирования значения весовых коэффициентов групп, веса критериев в группах и данная интерпретация реализованности критериев предоставляют возможность для определения функции полезности каждой СУС в процессе принятия решения о разработке на её основе УИАИС.

### Результаты исследования

Расчёт функции полезности по СУС позволяет исследовать состояние по каждой СУС и принять решение о выборе наиболее предпочтительной. Базируясь на [11, С. 104–109], предлагается функция полезности ( $f$ ) по каждой  $g$ -й группе критериев вида:

$$Znach_{ij}^g = f(A_i^{v=2}, KB_j^g), \quad (13)$$

где  $Znach_{ij}^g$  – значение элемента матрицы полезности, которое характеризует результат выбора альтернативы ( $A_i^{v=2}$ ) при конкретном состоянии её внутренней среды ( $KB_j^g$ );

$KB_j^g$  – взвешенный балл (отражает состояние реализации по критериям  $K_j^g$ ).

Для определения  $KB_j$  предлагается следующая формула:

$$KB_j^g = SR_j^g * PL_j^g, \quad (14)$$

где  $SR_j^g$  – степень реализации критерия в группе;

$PL_j^g$  – значения реализованности критерия в рамках шкалы «0, 0.5, 1».

Так как критериальных групп несколько и по каждой была получена соответствующая матрица полезности, необходимо свести все полученные результаты, рассчитав результирующую функцию полезности альтернативы:

$$f(A_i^{v=2}) = \sum_{h=1}^n \sum_{j=1}^m KB_j * PV_h \rightarrow \max, \quad (15)$$

где  $PV_h$  – приведенный коэффициент весомости критериальной группы, при  $h$  – число наиболее значимых критериальных групп (при  $h \in 1, g$ ).

Расчет по формуле 15 базируется на использовании метода свертывания критериев. Целенаправленный выбор между  $A_i^{v=2}$  представляет собой процесс принятия решений, в результате которого осуществляется выбор СУС, наиболее целесообразной для разработки УИАИС.

Таким образом, для осуществления разработки УИАИС целесообразно выбрать СУС Joomla, функция полезности которой является наибольшей (4,61).

### Заключение

В соответствии с предложенной последовательностью этапов и шагов моделирования предприятие имеет возможность выбрать наиболее подходящую для разработки УИАИС систему управления содержимым. Введение 2-х циклов обработки множества критериальных групп и их элементного состава позволяет исключить из анализа и принятия решения наименее значимые группы и низкоприоритетные критерии. Такое 2-х уровневое усечение дает возможность

осуществить процесс принятия решений по выбору СУС только на основе значимых критериев, реализация которых является необходимой для разработки УИАИС.

**Список литературы:** 1. *Хорошевский О. И.* Автоматизация приему заказов на полиграфическом предприятии // Материалы 16-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника та молодь в XXI столітті», Харків 17-19 квітня 2012 р. Том 6. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – С.449–450. 2. *Хорошевский О. И.* Метод выбора информационной удаленной издательской системы // Научно-технический журнал «Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. Фахове видання. Випуск 2 (54). – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2012. – С. 156–162. 3. *Хорошевский А. И.* Факторы повышения безопасности информационной удаленной издательской системы // Системы обработки информации. Фахове видання. Випуск 3(101). – Харьков: Харьковский университет воздушных сил имени Ивана Кожедуба, 2012. – С. 160–168. 4. Википедия [Электронный ресурс] / Система управления содержимым. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki>. – Название с экрана. 5. *Хорошевский А. И.* Исследование способов выбора удаленной информационной аналитической издательской системы для полиграфического предприятия // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии», посвященной 75-летию В. В. Свиридова. Харьков, 22-29 сентября 2012. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2012. – С. 121. 6. Web-to-print (Веб-ту-принт) [Электронный ресурс] / Сайт типографии «Идея Принт». – Режим доступа : <http://web-to-print.ru>. – Название с экрана. 7. *Марголин Е. М.* Экран-печать-бумага, или УИАИС / *Е. М. Марголин* // Новости полиграфии. Вип. № 1. – М.: Терция и К, 2011. – С. 12–17. 8. *Дубаков М. А.* Создание Web-страниц: искусство верстки. / М. Дубаков. - М.: Новое знание 2004, 287 с. 9. *Макаров И. М.* Теория выбора и принятие решений: Учебное пособие / *И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов.* – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 328 с. 10. Теория статистики: Учебник / Под ред. проф. *Р. А. Шмойловой.* – 3-е изд., перераб. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 560 с. 11. *Кузин Б.* Методы и модели управления фирмой / *Б. Кузин, В. Юрьев, Г. Шахдинаров.* – СПб.: Питер, 2001. – 432 с. 12. *Роберт Б.* Постройте профессиональный сайт сами / *Б. Роберт.* – СПб.: Питер 2009. – 302 с. 13. *Адам П.* Создание Web-сайтов в Adobe GoLive CS2. 250 лучших приемов и советов / *П. Адам, Л. Грилле.* – М.: ДМК Пресс 2006. – 384 с. 14. Сравнение систем управления содержимым [Электронный ресурс] / Сайт CMS matrix. – Режим доступа : <http://www.cmsmatrix.org>. – Название с экрана. 15. *Лорье Ж. Л.* Системы искусственного интеллекта: Пер. с франц. – М.: Мир, 1991. – 568 с. 16. *Лямец, В. И.* Системный анализ. Вводный курс / *В. И. Лямец, А. Д. Тевяшев.* – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков: ХНУРЭ, 2004. – 448 с. 17. Таблица распределения [Электронный ресурс] / VassarStats: Critical Values of Chi-Square. – Электронные данные. – Режим доступа: [http://psystat.at.ua/Articles/Table\\_Chi-Square.pdf](http://psystat.at.ua/Articles/Table_Chi-Square.pdf). – Название с экрана.

*Надійшла до редколегії 20.02.2013*

УДК: 005.53:655

**Моделирование процесса выбора СУС для разработки удаленной информационной аналитической издательской системы / Левыкин И.В., Хорошевский А.И** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 64-79. – Бібліогр.: 17 назв.

У статті моделюється процес вибору систему керування вмістом (СКВ) для розробки на її базі віддаленої інформаційної аналітичної видавничої системи (ВІАВС). Вибір базується на підставі двох циклів управління процесом визначення найбільш важливих критеріальних груп і їх елементного складу з можливістю усікання елементів, що є низько пріоритетними.

**Ключові слова:** систему керування вмістом, віддалена інформаційна аналітична видавнична система, поліграфічне підприємство, метод обробки експертної інформації, теорія статистики.

The paper simulated the process of selecting content management system (CMS) to develop on the basis of its remote data analysis publishing (RDAP). The choice is based on the basis of two-cycle management process of identifying the most important criterion groups and their elemental composition with the ability to truncate the elements that are of lower priority. Im. 0. Bibliogr.: 17 titles.

**Keywords:** content management system, remote data analytic publishing, printing company, expert information processing method, the theory of statistics.

## УДК 681.5

**В. Я. КОПП**, д-р тех. наук, проф., СевНТУ, Севастополь;

**С. А. КАЧУР**, канд. тех. наук, доц., СНУЯЭиП, Севастополь

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

Предложен метод построения системы интеллектуального управления на основе понятий следующих областей знаний: 1) физиологии человека; 2) теории автоматического управления; 3) искусственного интеллекта; 4) теории сетей Петри; 5) теории системного анализа. Проведен количественный сравнительный анализ существующих искусственных нейронных сетей и предложенной модульной нейроподобной сети на базе сетей Петри. Ил.:4. Библиогр.:9 назв.

**Ключевые слова:** системы интеллектуального управления, сложные системы, аварийная ситуация, нейронные сети, сети Петри.

**Введение.** В настоящее время для сложных систем принципиально безразлично, является ли процесс управления полностью автоматическим или же в отдельных (или во всех) контурах управления участвует оператор. На современном этапе без участия человека не удастся осуществить управление всеми технологическими процессами сложной системы, например, реакторной установки. Однако ведутся интенсивные работы по использованию нейроподобных систем для организации контроля, управления и защиты для таких систем. Модели и методы искусственного интеллекта (ИИ), а также современной теории автоматического управления являются базовыми в этих разработках. Основное назначение этих разработок – снижение нагрузки оператора в аварийных ситуациях.

#### **Анализ проблемы**

Рассматриваются подходы к созданию современных систем интеллектуального управления (СИУ). В рамках этого направления большое внимание уделяется методам и моделям искусственного интеллекта (ИИ). Например, таким исследованиям, как распознавание образов, восприятие зрительной, слуховой и других видов информации, методам ее обработки с целью выделения существенных признаков воспринимаемых объектов и осуществления их классификации. Если множество признаков, разделяющих объекты на классы заранее не известно, то возникает задача обучения распознаванию образов или самообучения распознаванию образов. Поэтому данное направление ИИ близко к машинному обучению и неразрывно связано с нейросетями [1-3].

Под СИУ будем понимать «искусственный мозг», который строится и функционирует по аналогии с мозгом человека [4]. Аналогия СИУ с человеческим мозгом условна, так как процесс мышления является духовной деятельностью и в целом присущ только человеческому мозгу. Несмотря на это, представления о

принципах организации человеческого сознания дают ключ к построению СИУ, способной выполнять обработку информации и принимать решение при определенных ограничениях. Такие организационные принципы были выдвинуты американским физиологом В.Маунткаслом [5]. В настоящее время ученые пытаются найти способы проверки этой концепции.

Одним из основных требований к системам принятия решения (СИУ), системам «поддержки» оператора является своевременность и правильность принятия решения в аварийных ситуациях. Это определяет проблему построения такой СИУ, которая обеспечивала бы свойства безопасности, самоорганизации и живучести сложной системы. Скорость принятия решения при прочих равных условиях связана с размерностью задачи, в частности для нейросетевых моделей ИИ с размерностью нейронной сети. Поэтому стоит задача разработки моделей поведения системы в аварийных ситуациях и выхода из таких ситуаций. Возможности математического аппарата сетей Петри при определенной интерпретации элементов сети позволят наилучшим образом в сравнении с существующими нейроподобными моделями решить данную задачу[6].

### **Цель исследования и постановка задачи**

Цель исследования состоит в построении СИУ на основе таких моделей организации сознания и проведения таких экспериментов, при которых сознание рассматривается целостно, а не расчленяется на отдельные структурные или функциональные составляющие.

Для достижения поставленной цели предлагается решить следующие задачи:

- 1) выделить блоки нейронных сетей по глобальному характеру функционирования в рамках СИУ;
- 2) определить модель иерархии управления (алгоритмов управления) как основу для реализации интеллектуального управления;
- 3) описать все блоки СИУ и их взаимосвязи на базе СП.

С точки зрения теории автоматического управления в некотором приближении организацию сознания можно представить в следующем виде. С одной стороны, человеческий мозг является оптимальной адаптивной системой автоматического управления (АОСАУ). В качестве объекта управления выступает сеть нейронных модулей переменной структуры со случайными параметрами (объемами нейронных модулей) при случайных внешних воздействиях, т.е. стохастическая система, элементами (стохастическими подсистемами) которой являются нейронные модули. С другой стороны, человеческий мозг является устройством управления человеческим организмом в целом, который также можно рассматривать как АОСАУ.

С точки зрения теории искусственного интеллекта нейронные сети, элементами которых являются нейронные модули (модулярные колонки), занимают промежуточное положение между А-сетями (ансамблевыми нейронными сетями) и М-сетями (активными семантическими сетями).

С точки зрения теории сетей Петри (СП), нейронная сеть описывается стохастической СП со сдерживающими событийными гипердугами [6]. Переходы СП составными.

С точки зрения системного анализа описание организации сознания должно иметь иерархическую структуру, т.е. нижний уровень соответствует модулярной колонке, промежуточный уровень – зонам коры головного мозга и различным его отделам, верхний уровень – мозгу человека в целом.



Таким образом, метод построения модели СИУ основывается на понятиях и методах пяти областей знаний: 1) физиология человека; 2) теория автоматических систем; 3) искусственный интеллект; 4) теория СП; 5) теория системного анализа.

Наибольшее значение при создании модели отводится методам теории автоматического управления и теории сетей Петри. При этом учитывается конкретная область применения СИУ.

### **Метод построения модели СИУ на базе сетей Петри**

Рассмотрим СИУ как АОСАУ, объектом управления которой является нейронная сеть, описанная СП. Обучение сводится к заданию входного воздействия и формированию на основе анализа реакции системы управляющего воздействия, которое формируется в виде вектора сигналов «поощрения» («наказания») при соответствии (несоответствии) полученной реакции системы требуемой. Блок формирования управляющего для СИУ воздействия назовем медиаторной памятью. Для организации самообучения используется декларативная память, хранящая систему требований, ограничений и множество запрещенных ситуаций, которые могут изменяться (расширяться) в процессе функционирования системы.

Основная проблема при разработке модели заключается в выборе структуры описания объекта. Алгоритмы функционирования модели являются вторичными и зависят от формы представления информации об объекте. Главным признаком сложной системы выступает иерархичность. Для разрабатываемой модели иерархичность соблюдается в описании уровней абстракций модели, описываемых СП. С повышением сложности модели возрастает моделирующая способность сети при снижении ее разрешающей способности. Однако, не смотря на то, что в основу модели положено расширение СП [6], в малом интервале времени  $\tau$  на конкретном уровне функционирования все активные переходы СП работают параллельно и независимо друг от друга (независимость в малом при наличии зависимости в большом). Главная задача при создании модели состоит в определении уровней абстракций и связей между ними.

Предлагается ввести пять уровней абстракции модели СИУ: 0) СИУ как АОСАУ, объектом управления которого является нейронная сеть; 1) взаимосвязи режимов работы СИУ; 2) режим работы СИУ; 3) блок модульной нейронной сети; 4) модуль нейронов[7] как неделимый элемент системы.

Каждый уровень представляет собой СП, включающую составные переходы. СП четвертого уровня описывает в некотором приближении функционирование взаимосвязанных модульных колонок и сопоставляется переходам СП третьего уровня. Каждый блок СИУ на небольшом интервале времени можно рассматривать как объект отдельной адаптивной оптимальной системы, управляющим устройством (УУ) которой при обучении является медиаторная память, а при самообучении также и декларативная. Медиаторная и декларативная память представляют собой УУ как для каждого блока системы, так и для системы в целом.

Возможная схема функционирования СИУ как АОСАУ приведена на рис. 1. На схеме приняты следующие обозначения: БЗК – блок зрительной коры; БАП – блок архивной памяти; БПТР – блок принятия текущего решения; БК – блок координации; БМДП – блок медиаторной и декларативной памяти. Объект управления (ОУ) включает БЗК, БАП, БПТР, БК. В качестве УУ выступает БМДП. Внешнее случайное воздействие задано вектором параметров, поступающим от измерительных систем.

В зависимости от специфики функционирования каждому блоку сопоставляется некоторое подмножество алгоритмов. Множество всех алгоритмов СИУ можно сравнить с системой команд микропроцессора. Причем, алгоритмы могут быть трех типов и образовывать следующую иерархию (в соответствии с иерархией модели): 1) алгоритмы работы с декларативной памятью; 2) алгоритмы обработки

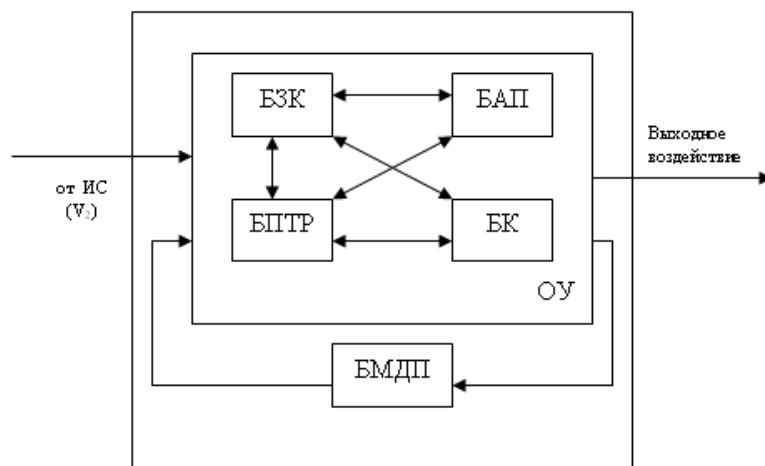


Рис. 1 - Функциональная схема СИУ как АОСАУ

результатов выполнения третьего типа алгоритмов; 3) адаптивные алгоритмы оптимизации параметров и структуры [8,9]; 4) алгоритмы функционирования нейронного модуля, в основе описания которого лежит система дифференциальных уравнений.

Результаты работы алгоритмов третьего типа заключаются в изменении структуры и параметров СП и являются исходными данными для алгоритмов второго типа. Результаты выполнения алгоритмов второго типа хранятся в декларативной памяти как несетевые элементы кратковременной, долговременной и архивной памяти. К алгоритмам первого типа можно отнести алгоритмы модификации структуры архивной памяти, принятия решения, идентификации образов, ситуаций и т.п., которые осуществляются на основе информации, хранящейся в декларативной памяти.

СП первого уровня отражает связи всех режимов работы (прямые, обратные). Ее переходам сопоставлены режимы работы СИУ. В случаи, если какие-то режимы одновременно выполняться не могут, то входные дуги переходов, соответствующих этим режимам, охватываются сдерживающими событийными гипердугами.

На втором уровне (описание режима) переходам СП сопоставляются блоки СИУ. СП описывает процесс передачи информации от одного блока к другому. При срабатывании переходов СП второго уровня выполняются адаптивные алгоритмы, сопоставленные данным переходам. Так как УУ является общим для всех блоков, и выходы одного блока являются входами других, то происходит адаптивная оптимизация структуры и параметров всех блоков рассматриваемого режима (или режимов) работы.

### **Сравнительная характеристика существующих искусственных нейронных сетей и модульной нейроподобной сети на базе СП**

Сложность алгоритма, временные затраты и требуемые объемы машинной памяти при моделировании поведения объекта являются функциями от размерности его модели. Сложность модели СИУ определяется размерностью искусственных нейронных сетей (ИНС). В качестве показателя размерности ИНС выступает количество  $k$  атомарных элементов сети. Для современных ИНС атомарным элементом является нейроподобный элемент (НЭ), а для предложенных в диссертации модульной нейроподобной сети (МНС) на базе СП – нейронный модуль, которому сопоставлен переход СП. Для сравнения сложности алгоритма имитационного моделирования и размерности ИНС на базе НЭ и МНС на базе СП

будем использовать логарифмические характеристики размерности сети –  $lg(k_H)$  и  $lg(k_C)$  Соотношение логарифмических показателей размерности и сложности имитационных алгоритмов на основе моделей сравниваемых ИНС и МНС приведено в таблице и на рис. 2–4 с учетом того, что минимальный объем нейронного модуля соответствует одной модулярной колонке (100 нейронов), объем мозга человека составляет  $10^{11}$  нейронов, а максимальный размер ИНС на основе НЭ –  $10^8$  нейронов. Для предложенной в [7] модели элемента МНС число переходов СП, описывающих один нейронный модуль соответствует четырем, т.е. сложность его имитационного алгоритма соответствует  $2^4$ . Число состояний элемента МНС соответствует 2 (элемент «активен» или элемент «неактивен»).

Сложность алгоритма имитационного моделирования МНС на базе СП, используя логарифмические характеристики размерности сети, или вычисляется по формуле  $s_C = 2^4 \cdot 2^{lg k_C}$ , для ИНС на базе НЭ соответственно  $s_H = 2^{lg k_H}$  соответственно. При классификации ИНС по размерности модели (рис. 4) на малые (МИНС –  $1 \div 10^3$  нейронов), средние (СИНС –  $10^3 \div 10^5$  нейронов), большие (БИНС –  $10^3 \div 10^5$  нейронов), сверхбольшие (СБИНС –  $10^5 \div 10^8$  нейронов), ультрабольшие (УБИНС – более  $10^8$  нейронов) можно сделать следующие выводы:

1) для МИНС и СИНС применение МНС на базе СП либо невозможно, либо нецелесообразно;

2) для БИНС применение МНС на базе СП дает снижение размерность сети в среднем на 4 порядка по сравнению с ИНС на основе НЭ при более высокой алгоритмической сложности;

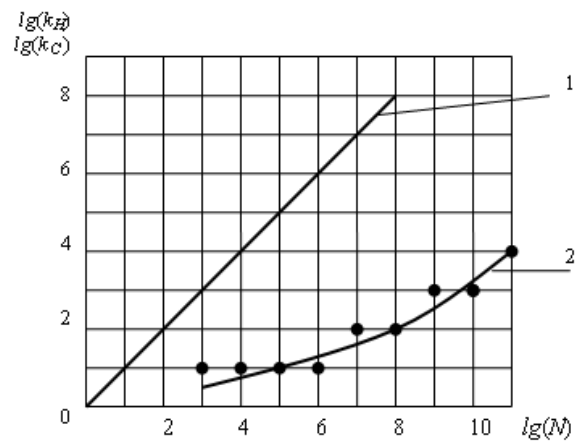


Рис. 2 - Зависимость размерности ИНС на основе НЭ (1) и МНС на базе СП (2) от размерности нейронной сети

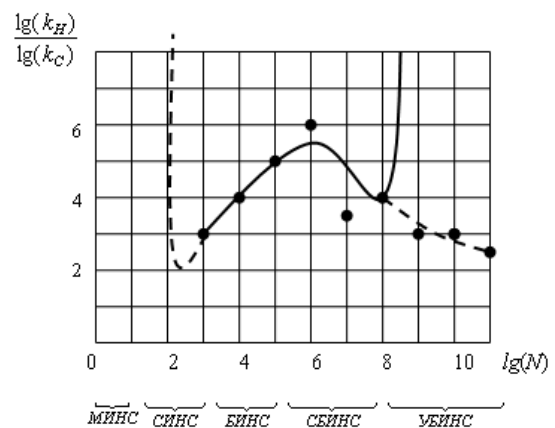


Рис. 3 - Соотношение размерности ИНС на основе НЭ и МНС на базе СП для разной степени сложности модели нейронной сети

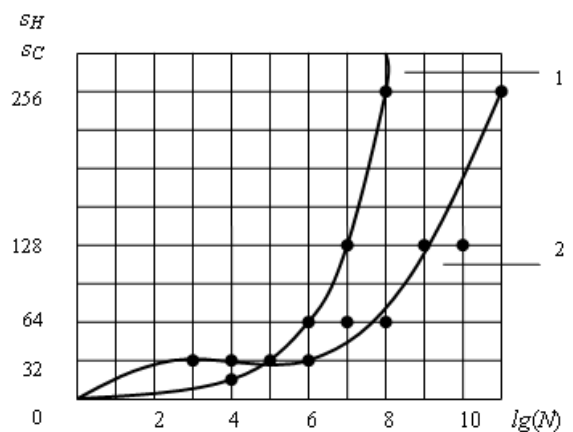


Рис. 4 - Зависимость сложности имитационных алгоритмов для ИНС на основе НЭ (1) и МНС на базе СП (2) от размерности нейронной сети

3) для СБИНС использование МНС на базе СП по сравнению с ИНС на основе НЭ приводит к снижению размерности модели на 4-6 порядков и сложности алгоритма до 4 раз;

4) для УБИНС в настоящее время использование в качестве атомарного элемента НЭ нецелесообразно, что определяет перспективность применения МНС на базе СП.

Таблица - Показатели размерности и сложности ИНС на основе НЭ и МНС на базе СП в логарифмическом масштабе

Число нейронов $N$	Размерность ИНС с НЭ $k_H$	Размерность МНС с СП		$lg(k_H)$	$lg(k_C)$	$\frac{lg(k_H)}{lg(k_C)}$	Сложность алгоритма имитационного моделирования	
		$k_C$	Объем модуля				ИНС с НЭ $s_H$	МНС с СП $s_C$
$10^2$	$10^2$	-	-	2	-	$\infty$	4	-
$10^3$	$10^3$	10	1	3	1	3	8	32
$10^4$	$10^4$	10	10	4	1	4	16	32
$10^5$	$10^5$	10	$10^2$	5	1	5	32	32
$10^6$	$10^6$	10	$10^3$	6	1	6	64	32
$10^7$	$10^7$	$10^2$	$10^3$	7	2	3,5	128	64
$10^8$	$10^8$	$10^2$	$10^4$	8	2	4	256	64
$10^9$	-	$10^3$	$10^4$	-	3	$\infty$	512	128
$10^{10}$	-	$10^3$	$10^5$	-	3	$\infty$	1024	128
$10^{11}$	-	$10^4$	$10^5$	-	4	$\infty$	2048	256

**Выводы.** Анализ методов построения современных систем ИИ позволил сделать вывод, что для систем принятия решения в условиях неопределенности необходима разработка моделей, позволяющих значительно снизить размерность задач. Использование СП позволяет одновременно с моделированием случайных процессов моделировать неопределенность, при этом в качестве правил поведения использовать различные алгоритмы, в том числе адаптивного управления, управления структурой и параметрами, как СИУ, так и объекта управления. Таким образом реализуется самообучение СИУ в процессе управления объектом при увеличении мощности моделирования.

Произведено сравнение предложенной модульной нейронной сети (МНС) на базе СП и современных ИНС на НЭ. МНС имеет моделирующую способность в 4÷6 раз выше при объеме сети  $10^5 \div 10^8$  нейронов, чем ИНС. МНС позволяет моделировать сети размерностью  $10^9 \div 10^{12}$  нейронов с быстродействием сравнимым с ИНС на НЭ размерностью  $10^5$ .

Для полной реализации указанных преимуществ СИУ, модель которых построена с использованием предложенного метода, необходима аппаратная реализация, элементная база, основанная на свойствах сверхпроводников.

**Список литературы:** 1. Бакаев Л. А. Экспертные системы и логическое программирование / Л. А. Бакаев, А. А. Грищенко. – К.: Наук. думка, 1992. – 220с. 2. Васильев С. Н. Расширение потенциала управления с помощью новых средств представления и обработки знаний./ С. Н. Васильев // Проблемы управления и информатики. – 2002. – №4. – С.21-36. 3. Дорогов А. Ю. Структурный синтез модульных слабосвязанных нейронных сетей. I. Методика структурного синтеза модульных нейронных сетей / А. Ю. Дорогов // Кибернетика и системный анализ. – 2001. – №2. – С.34-42. 4. Амосов Н. М. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы

/ Н. М. Амосов, Т. Н. Байдык, А. Д. Гольцев. – К.: Наук. думка, 1991. – 272с. 5. Блум Ф. Мозг, разум и поведение./ Ф. Блум, А. Лейзерсон, Л. Хофстедтер. – М.: Мир, 1988. – 248с. 6. Качур С. А. Модель стохастических систем и их соединений на основе сетей Петри/ С. А. Качур // Проблемы управления и информатики. – 2002. – №1. – С.93-98. 7. Качур С. А. Модель нейронного модуля как элемента стохастических систем на основе сетей Петри/ С. А. Качур // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2005. – №1. – С.125-129. 8. Качур С. А. Параметрическая оптимизация стохастических сетей и их соединений на основе сетей Петри/ С. А. Качур // Радиоэлектроника и информатика. – 2005. – №3. – С.83-87. 9. Качур С. А. Адаптивное управление структурой сложных стохастических систем на основе сетей Петри/ С. А. Качур // Радиоэлектроника и информатика. – 2005. – №4. – С.38-41.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК 681.5

**Автоматизация процессов управления сложными системами в нештатных ситуациях на базе моделей сетей Петри / Копп В. Я., Качур С. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 79-85. – Бібліогр.: 9 назв.**

Запропоновано метод побудови системи інтелектуального керування на основі понять наступних областей знань: 1) фізіології людини; 2) теорії автоматичного керування; 3) штучного інтелекту; 4) теорії мереж Петри; 5) теорії системного аналізу. Проведено кількісний порівняльний аналіз існуючих штучних нейронних мереж і запропонованої модульної нейроподібної мережі на базі мереж Петри.

**Ключові слова:** системи інтелектуального керування, складні системи, аварійна ситуація, нейронні мережі, мережі Петри.

The method of construction of the intellectual control system on the basis of concepts of the following regions of knowledges is offered: 1) physiology of man; 2) theories of automatic control; 3) artificial intelligence; 4) theories of the Petre nets; 5) theories of systems analysis. The quantitative comparative analysis of existent artificial neuron nets and offered module similar to neuron net on the base of the Petre nets is conducted.

**Keywords:** intellectual control systems, difficult systems, emergency situation, neuron nets, the Petre nets.

УДК 004.9:528:006.06

**А. В. БЕЛЬЧЕВА**, аспирант, ХНУРЭ, Харьков;

**Н. О. МАНАКОВА**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

### **МОДЕЛЬ МИНИМИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ РЕАЛИЗАЦИИ ГИС-ПРОЕКТА С УЧЕТОМ ПОЛНОТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

В статье предложена модель минимизации временных затрат реализации ГИС-проекта, проведен анализ чувствительности модели к состоянию информационного обеспечения.

**Ключевые слова:** ГИС, пространственные данные, тестовые данные, модель, проектирование, информационное обеспечение.

**Вступление.** Геоинформационная система (ГИС) широко используются в управленческих процессах как основа для принятия решений, включающая: информационное, программное, техническое, лингвистическое и правовое обеспечение. Структура информационного обеспечения (ИО) ГИС существенно отличается от других информационных систем. Трудоемкость проектирования ИО для ГИС сложно переоценить, так как этот процесс включает разработку цифровых карт, что является одной из самых ресурсоемких задач. Даже при условии

© А. В. БЕЛЬЧЕВА, Н. О. МАНАКОВА, 2013

использования готового картографического и атрибутивного материала, срок поставки и цена (которая может составлять до 90% от стоимости всего проекта) [1] может поставить под вопрос успешность разработки ГИС. Проблема полноты ИО возникает уже на первых этапах проектирования. Реализация функциональных задач, выбор программного и технического обеспечения во многом зависит от характера информационных ресурсов и скорости наполнения ИО.

### Анализ последних исследований и литературы.

Процесс проектирования ГИС-приложений состоит из нескольких взаимосвязанных этапов, продолжительность каждого из которых зависит от особенностей конкретного ГИС-приложения. Анализ сетевых графиков проектирования позволяет определить характер «критического пути» и процентное соотношение временных затрат на каждый из этапов реализации ГИС-приложений, где можно проследить следующие закономерности: самые продолжительные этапы проектирования (около 90%): разработка, внедрение ИО и реализация функциональных задач; перечисленные этапы взаимосвязаны и даже небольшие

корректировки влияют на всю цепочку проектных решений; работы по формированию информационного обеспечения ГИС-приложения занимают почти половину от всей длительности проекта; этап формирования ИО находится на «критическом пути» проектирования ГИС-приложения.

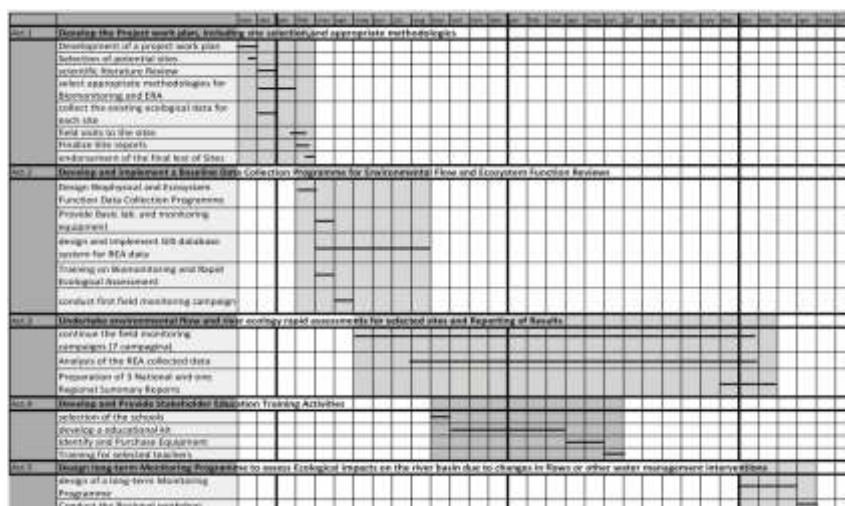


Рис.1 - Типичный сетевой график проектирования ГИС

Недостаточный уровень полноты ИО приводит к временным издержкам и увеличению основных этапов проектирования. Следовательно время разработки ГИС зависит от состояния ИО, значительно снизить временные (а следовательно и финансовые) затраты можно за счет сокращения процесса формирования ИО.

**Цель исследования** – сокращение сроков разработки ИО ГИС-приложений. Для ее решения предложена модель минимизации времени работы над проектом. Главная цель которой – определить факторы влияющие на временные затраты проектирования.

**Материалы исследования.** Модель формирования информационного обеспечения ГИС-приложений основана на следующих предположениях. Считаем, что  $N_p(t)$  – достаточный уровень полноты информационного обеспечения для стабильного функционирования ГИС-приложений, тогда скорость наполнения ИО

$$V(N) = \frac{dN_p}{dt}$$

Если принять во внимание ограничения в данных, связанные с требованиями к ИО. То модель примет нелинейный характер

$$\frac{dN_p}{dt} = a \left( 1 - \frac{N}{N_p} \right) N,$$

При отклонении значения уровня ИО от величины  $N_p$ , скорость наполнения ИО положительна (отрицательна) и обеспечивает переход от текущего уровня ИО к полному. Из условия, что в начальный момент времени уровень ИО равен  $N_0$ , постоянную интегрирования можно выразить

$$C = \ln\left(\frac{1}{N_p - N_0}\right)N_0.$$

Характер функции  $N(t)$  определяется уравнением вида

$$N(t) = \frac{N_p N_0 e^{at}}{N_p - N_0 (1 - e^{at})},$$

из которого следует, что при любых начальных объемах ИО ( $N_0 < N_p$ ,  $N_0 > N_p$ ), его уровень всегда будет стремиться к  $N_p$ . Подобные механизмы «насыщения» широко используют для построения математических моделей в различных областях знаний [2].

Источниками ИО могут быть цифровые топографические карты, материалы аэро- и космо- съемки, геодезические данные, данные воздушного и наземного сканирования, а также различные информационные ресурсы государственной статистики, кадастра и других служб. Все вышеперечисленные информационные ресурсы являются реальными данными, которые необходимо заказывать у различных производителей. Для наполнения ИО подобными данными необходим их тщательный анализ на предмет качества, цены, сроков поставки и многих других характеристик [3]. Поэтому значение интенсивности наполнения ИО  $a_1(t)$  подобными пространственными данными сложно прогнозировать. Для обеспечения некоторого уровня интенсивности наполнения, целесообразно использовать тестовые данные –  $N_t(t)$ . Интенсивность получения которых  $a_2(t)$  будет достаточно высока, однако их использование рационально только на некоторых этапах проектирования.

Рассмотрим характер динамики проектирования ГИС-приложений в зависимости от уровня полноты информационного обеспечения. Пусть  $N(t)$  характеризует «массу» данных обрабатываемых приложением, а общая интенсивность получения данных зависит от скорости формирования реальных и тестовых наборов, тогда скорость наполнения ИО ГИС

$$\frac{dN}{dt} = (a_1(t) + a_2(t))N(t)\left(1 - \frac{N(t)}{N_p}\right),$$

где  $N_p$  – достаточный уровень полноты ИО для стабильной работы ГИС-приложения;

$N(t)$  – текущий уровень полноты ИО в момент времени  $t$ ,

$a_1(t)$ ,  $a_2(t)$  – интенсивности наполнения ИО данными.

### **Результаты исследования.**

Результатом данного исследования является модель минимизации временных затрат на реализацию ГИС-проекта. Проанализируем, как изменение исходных параметров модели влияет на скорость наполнения ИО. Если в начальный момент времени уровень ИО  $N_0$  превышает  $N_p$  разработчик столкнется с задачей принятия решения. Подготовка и отбор валидных данных не менее трудоемкий процесс, чем поиск и заказ необходимого ИО.

$$N_0 > N_p, \quad N(t) = -\sqrt{ce^{(a_1+a_2)t}},$$

В таком случае в тестовых данных нет необходимости, избыток данных приведет к снижению скорости наполнения ИО. На практике разработчик чаще сталкивается с ситуацией, когда начальный уровень данных очень низкий и его не достаточно для реализации функциональных задач.

$$N_0 < N_p, \quad N(t) = c e^{(a_1+a_2)t},$$

Тогда чем выше сумма интенсивностей наполнения ИО, тем меньше время необходимо на разработку ИО.

И наоборот, если на этапах проектирования не использовать тестовые наборы данных, то сроки выполнения проекта значительно увеличатся. Таким образом, время, затраченное на

проектирование ИО, будет обратно пропорционально соотношению  $a_2/a_1$ . Анализ модели на чувствительность показал прямую зависимость динамики проектирования от состояния ИО.

**Заключение.** Исходя из предложенной модели можно прийти к выводу, что использование тестовых наборов данных значительно сократит временные затраты на формирование ИО. Однако, этап внедрения и эксплуатации ГИС-приложения предполагает наличие реальных данных. Как только необходимое ИО будет сформировано, разработчик сможет отказаться от тестового набора и провести замену. Таким образом, для минимизации временных затрат на реализацию ГИС необходимо решить две задачи: разработать методы и алгоритмы формирования тестовых данных, что приведет к увеличению интенсивности  $a_1$ , и методику выбора реального ИО для повышения интенсивности  $a_2$ . Такие методы предложены в работах [4,5] и применены в практических задачах.

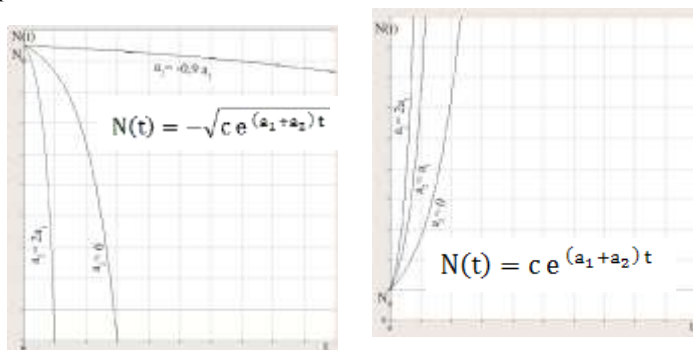


Рис.2 - Динамика  $N(t)$  в зависимости от  $N_0$

**Список литературы:** 1. Самодумкин, С. А. Управление данными в геоинформационных системах: Учеб. пособие для студ. спец. «Искусственный интеллект» [Текст] / С. А. Самодумкин, М. Д. Степанова, Н. А. Гулякина – Мн. : БГУИР, 2006. – 111 с. 2. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры [Текст] / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с. 3. Адров В. Н., Карионов Ю. И. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования. В. Н. Адров, Ю. И. Карионов, П. С. Титаров, А. Д. Чекурин, // «Ракурс», Москва. – 2004. Электронный ресурс: <http://www.racurs.ru> 4. Бельчева А. В., Манакова Н. О., Аналитический выбор исходных данных на основе метода иерархий с учетом тематики геоинформационного проекта [Текст] / А. В. Бельчева, Н. О. Манакова // г. Харьков, 2012, «Бионика интеллекта» № 1(78), 2012, стр.97. 5. Бельчева А. В., Манакова Н. О., Алгоритм создания тестовых наборов векторных и растровых данных [Текст] / А. В. Бельчева, Н. О. Манакова // г. Харьков, 2012, «Радиоэлектроника и информатика» № 2 (57), 2012, стр 83.

Надійшла до редколегії 26.02.2013

УДК 004.9:528:006.06

**Модель минимизации временных затрат реализации ГИС-проекта с учетом полноты информационного обеспечения/А. В. Бельчева, Н. О. Манакова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 85-89. – Бібліогр.: 5назв.**



У статті запропонована модель мінімізації часових затрат реалізації ГИС-проекту, проведено аналіз чутливості моделі до стану інформаційного забезпечення.

**Ключові слова:** ГИС, просторові данні, тестові данні, модель, проектування, інформаційне забезпечення.

The paper proposes a model to minimize time-consuming implementation of GIS project, an analysis of the sensitivity of the model to the state of information security.

**Keywords:** GIS, spatial dataset, test dataset, model, designing, information ensuring

## УДК 621.391

**В. В. КОРЧИНСКИЙ**, канд.техн. наук, доц., Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

### **МОДЕЛЬ ШУМОВОГО СИГНАЛА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Рассматриваются вопросы применения шумовых сигналов в современных конфиденциальных системах связи. Предложена математическая модель шумового сигнала для задачи синтеза сигнальных конструкций с заданными спектральными и автокорреляционными характеристиками.

**Ключевые слова:** шумовой, хаотический, сигнал, спектр, конфиденциальный.

#### **Введение**

В настоящее время большой интерес представляют методы передачи, в которых в качестве носителей информации используются не гармонические колебания, а шумовые сигналы. Особенность такого вида переносчика информации, как шум, объясняется новыми открывающимися перспективами по организации защиты передаваемых данных на первом уровне эталонной модели OSI. Очевидно, что такая мера необходима не только для проводного канала, но и для радиоканала, который в силу своей доступности является наиболее уязвимым для перехвата передаваемых по нему сообщений средствами несанкционированного доступа (НСД).

Не является секретом и тот факт, что на протяжении многих лет вопросы защиты конфиденциальной информации от НСД рассматривались и решались в основном на верхних уровнях модели OSI [1]. Объясняется это, с одной стороны, наличием продвинутой теоретической базой по созданию систем криптографической защиты, а, с другой стороны, благоприятствующими на тот период техническими возможностями по их реализации. Первое десятилетие нынешнего века характеризуется заметным технологическим прорывом в области создания высокопроизводительной элементной базы, что служит толчком для построения сложных вычислительных систем и средств радиотехники, а также возможности внедрения сложных видов модуляции с использованием шумовых сигналов. Однако этот же прогресс существенно увеличивает потенциал НСД к информационным ресурсам пользователей сети и перехвату передаваемых сигналов непосредственно в физическом канале связи.

Известно [4], что несущее колебание, сформированное на основе шумового сигнала, позволяет эффективно использовать распознавание сигналов по форме и называется кодовым разделением каналов (КРК). Преимуществом шумового сигнала также является возможность обеспечивать скрытность передачи на уровне физического канала [5], что особенно актуально при построении конфиденциальных систем связи многопользовательского доступа.

© В. В. КОРЧИНСКИЙ, 2013

Одним из видов шумового сигнала являются шумоподобные сигналы [3], в которых расширение спектра передаваемой элементарной посылки осуществляется ортогональными последовательностями, например, Уолша, а в качестве переносчика могут браться сигнальные конструкции, реализованные на основе гармонического колебания (АМ, ФМ, ЧМ и т.д.).

Другим видом шумового сигнала является хаотический сигнал. Исследования хаотических сигналов были проведены в работах [2, 5] и показали перспективность их использования в качестве переносчика информации для реализации методов защиты конфиденциальной информации в физическом канале.

Таким образом, на сегодня создано большое количество методов формирования шумового сигнала, как аппаратных, так и программных, однако, отсутствует единый подход к синтезу таких сигнальных конструкций и оценке их основных параметров с помощью соответствующей математической модели.

### **Цель работы**

Целью данной статьи является разработка математической модели для задачи синтеза дискретного шумового сигнала с заданными спектральными и автокорреляционными свойствами.

### **Моделирование шумовых сигналов**

Рассмотрим характерные особенности реального шумового сигнала  $\xi(t)$  и колебаний, формируемых генератором хаоса  $x_n$ . Реальный шумовой сигнал  $\xi(t)$  представляет собой совокупность одновременно существующих электрических колебаний частоты, фазы, амплитуды, имеющие случайный характер. Спектр шумовых сигналов занимает широкую полосу частот. Если этот спектр равномерен на всех частотах от 0 до  $\infty$ , то такой сигнал называется «белым». Практически такой шум получить нельзя, но для любого устройства, полоса пропускания которого во много раз меньше спектра шумового сигнала, шум можно считать «белым». Используемая мощность шумового сигнала определяется полосой пропускания устройства, на вход которого он поступают. Если излучается управляемый шумовой сигнал длительностью  $T$ , а прием происходит с помощью согласованного фильтра или корреляционной схемы, то и на выходе коррелятора при совпадении по времени принимаемого и опорного сигналов ( $\tau = 0$ ) к концу существования сигнала выделится энергия

$$E_{\text{шт}} = \int_0^T \xi^2(t) dt, \quad (1)$$

Предположим, что эта энергия также является случайной величиной со средним значением  $E_0$  и дисперсией  $\sigma^2$ . Флуктуацию энергии переносчика можно рассматривать как помеху, искажающую сигнал. Вопрос о флуктуациях энергии «белого» шума был достаточно хорошо исследован [4]. Если шум ограничен полосой  $\Delta f_{\text{ш}}$  и при большой его базе, то относительное среднеквадратическое отклонение величины  $E_{\text{шт}}$  равно

$$\frac{\sigma^2}{E_0} \approx \frac{1}{\Delta f_{\text{ш}} T}. \quad (2)$$

Для того чтобы уменьшить искажение информации, которая переносится шумом, целесообразно применять сигналы с большей базой и усреднять результаты измерений энергии шума за время, в несколько раз превышающее время корреляции  $\tau_{\text{кор}}$  исследуемого сигнала. «Белый» шум является идеальным шумовым сигналом,

обладающий бесконечным спектром и функцией корреляции в виде дельта-функции. Реализовать на практике «белый» шум невозможно, так как для его генерации и обработки требуется аппаратура с неограниченной полосой пропускания, поэтому в реальных системах используется шум с ограниченной полосой  $\Delta f_{ш}$ . При чисто шумовом сигнале с ограниченной базой сложно обеспечить в каждой реализации постоянство уровня боковых лепестков функции неопределенности на всей плоскости  $\tau$ ,  $F_d$  [4]. Также вызывают затруднения в обеспечении стабильной работы передатчика в условиях, когда непрерывно меняется его мощность передачи. По этой причине целесообразно использовать заранее отобранные «хорошие» реализации шумоподобных сигналов. Очевидно, что такие реализации могут быть сформированы на основе программных генераторов шума, например, на основе динамического хаоса.

Под динамическим хаосом [2] будем понимать некоторое нерегулярное, апериодическое изменение состояния (движение) нелинейной динамической системы, обладающее основными свойствами случайного процесса. Для формирования реализаций хаотического сигнала в системах связи можно использовать как аппаратный [6], так и программный генератор [2, 5].

Программный генератор хаоса является детерминированным устройством, поэтому сформированный по определенному алгоритму сигнал, также является детерминированным. Свойства дискретных генераторов хаоса определяются видом функции отображения и значениями управляющих параметров. Генерировать хаотическое колебание  $x_n$  можно в соответствии с некоторым разностным уравнением

$$x_{n+1} = f(x_0; x_n; a) \quad (3)$$

где  $f(\cdot)$  – нелинейная функция отображения;  $a$  – управляющий параметр,  $x_0, x_n, x_{n+1}$  – начальное, текущее и последующее значения соответственно.

Например, дискретные значения хаотической последовательности можно реализовать на основе логистического отображения

$$x_{n+1} = ax_n(1 - x_n), \quad (4)$$

где  $a=3,9$  – управляющий параметр,  $x_n$  – начальное значение хаотической последовательности.

В таком генераторе малейшее изменение его начальных параметров приводит к существенному изменению формы генерируемого колебания, что имеет практический интерес для формирования различных траекторий хаотического процесса. Хаотический сигнал  $x_{xc}(t)$  (рис. 1) обладает всеми свойствами шумового сигнала [8]: непериодичностью траекторий во времени; быстро спадающей автокорреляционной функцией  $r_{xc}(m)$  (рис. 2 б); сплошным непрерывным спектром мощности  $S_k$  (рис. 3 б). Данные свойства хаотического сигнала, используемого в качестве переносчика информации, позволяют решать задачи по маскировке сообщений, т.е. обеспечивать скрытность и конфиденциальность передачи. Использование программного генератора хаоса обеспечивает возможность: выбора реализаций сигнала с требуемыми качественными показателями; многократного воспроизведения одних и тех же реализаций.

Рассмотрим математическую модель шумового сигнала, сконцентрированного в полосе  $\Delta f_{ш}$ , на основе синусоидального колебания, модулированного по амплитуде,

частоте или фазе низкочастотным шумом. Тогда шум с полосой  $\Delta f_{ш} \ll \Delta f_0$  можно представить в виде шумоподобного сигнала

$$u_{ш_1}(t) = U_{ш}(t) \cos[2\pi f_0 t - \varphi_{ш}(t)], \quad (5)$$

где амплитуда  $U_{ш}(t)$  и фаза  $\varphi_{ш}(t)$  – взаимонезависимые случайные функции, медленно изменяющиеся по сравнению с  $\cos 2\pi f_0 t$ ;  $f_0$  – центральная частота спектра шума.

Воспользуемся выражением (5) и методом имитационного моделирования, сформируем шумовую последовательность  $u_{ш_1}(t)$ . Для сравнения на рис. 1 приведены сигнальные конструкции, полученные различными методами:

- 1)  $x_{xc}(t)$  – хаотический сигнал (4);
- 2)  $u_{ш_1}(t)$  – шумовой сигнал (5).

Как видно из рис. 1 определить визуально метод формирования шумового сигнала  $x_{xc}(t)$  или  $u_{ш_1}(t)$  не представляется возможным. Сравним автокорреляционные функции этих сигналов и их спектры.

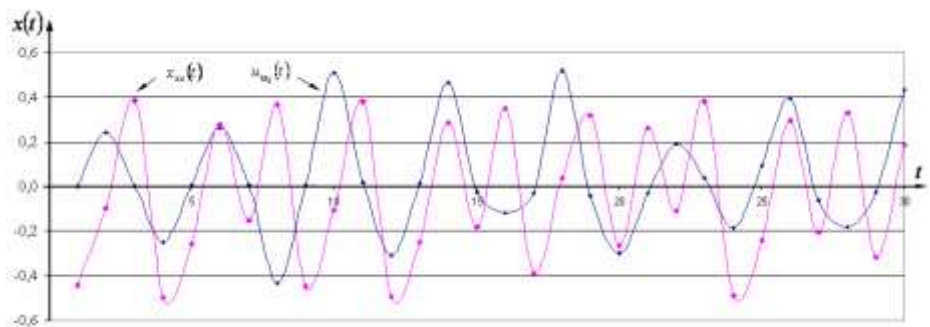


Рис. 1 – Шумовые последовательности  $x_{xc}(t)$  и  $u_{ш_1}(t)$ , сформированные методом имитационного моделирования и генератором хаоса (4)

Автокорреляционную функцию таких сигналов можно получить по формуле:

$$R(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-m} z_n \times z_{n+m}, \quad (6)$$

где  $m$  – временной сдвиг при единичном временном интервале;  $\overline{z_n}$  – реализации сигналов  $u_{ш_1}(t)$  и  $x_{xc}(t)$ . С учетом (6) найдем нормированную автокорреляционную функцию (АКФ)

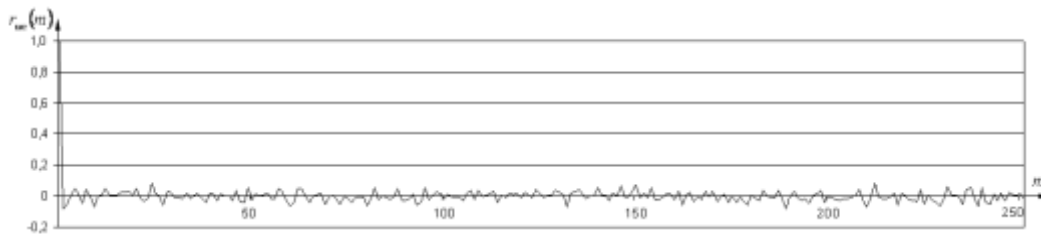
$$r(m) = \frac{R(m)}{R(0)}, \quad (7)$$

Для сигналов  $x_{xc}(t)$  и  $u_{ш_1}(t)$  на рис. 2 (а) и 2 (б) приведены графики нормированной АКФ, где видно, что АКФ сигналов  $x_{xc}(t)$  и  $u_{ш_1}(t)$  является непериодической и стремится к нулю за достаточно малый промежуток времени.

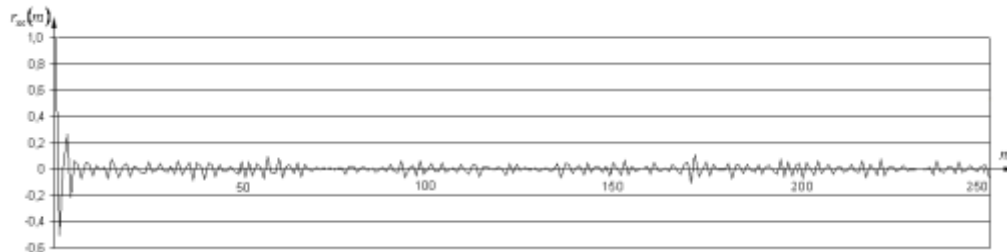
Чтобы более полно судить о свойствах сигналов  $x_{xc}(t)$  и  $u_{ш_1}(t)$  рассмотрим распределение энергии по частотам. Односторонний спектр мощности определим по формуле [4]

$$S(k) = \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} z_n \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right]^2 + \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} z_n \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right]^2, \quad (8)$$

где  $k$  – аналог частоты  $f$ , представленный на рис. 3 (а) и 3 (б) для сигналов  $x_{xc}(t)$  и  $u_{ш_1}(t)$  соответственно.



а



б

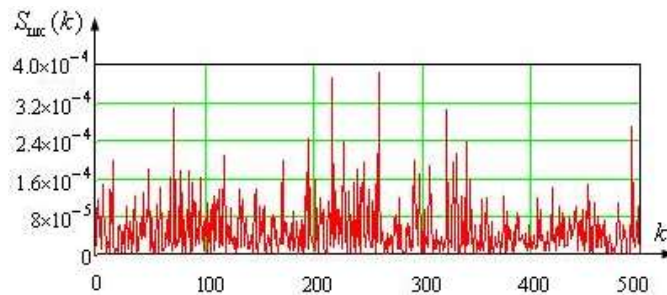
Рис. 2 - Нормированная автокорреляционная функция шумового сигнала  $r_{ш}(m)$  (а) и хаотического сигнала  $r_{х}(m)$  (б) для длины реализации 1000

Анализ АКФ и спектра хаотического сигнала  $x_{х}(t)$  (рис. 3, б) показывает его принадлежность к шумовому сигналу гауссова типа. Полученный спектр синтезированного шумового сигнала  $u_{ш}(t)$  (рис. 3, а) является сплошным, непрерывным, а спектральная плотность мощности его распределена по всему частотному диапазону, что свидетельствует о его лучших маскировочных свойствах в канале по сравнению с сигналом  $x_{х}(t)$

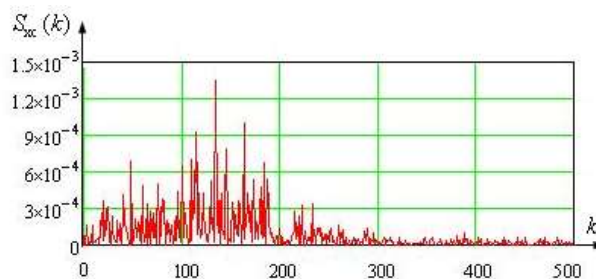
### Вывод

В работе предложена математическая модель шумового сигнала для задачи синтеза сигнальных конструкций с заданными спектральными и автокорреляционными характеристиками. Требуемые характеристики формируемой шумовой реализации обеспечиваются за счет варьирования во времени параметров гармонического колебания. Изменение амплитуды, частоты и фазы производится в соответствии с задаваемым законом распределения выборки случайных или псевдослучайных чисел.

**Список литературы:** 1. Шаньгин А.И. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей / А. И. Шаньгин. – М.: ИД «Форум»: ИФРА-М, 2008. – 416 с. 2. Залогин, Н. Н. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах / Н. Н.



а



б

Рис. 3 - Односторонний спектр шумового сигнала  $S_{ш}(k)$  (а) и хаотического сигнала  $S_{х}(k)$  (б) для длины реализации 1000

Залогин, В. В. Кислов. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с. 3. *Ипатов, В. П.* Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М.: Техносфера, 2007. – 487 с. 4. *Свистов, В. М.* Радиолокационные сигналы и их обработка / В. М. Свистов. М.: Сов. Радио, 1977. – 448 с. 5. *Захарченко, Н. В.* Многопользовательский доступ в системах передачи с хаотическими сигналами / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/9(53). – С. 26–29. 6. Генераторы хаотических колебаний / Б. И. Шахтарин, П. И. Кобылкина, Ю. А. Сидоркина и др. – М.: Гелиос АРВ, 2007. – 248 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК 621.391

**Модель шумового сигнала для передачи конфиденциальной информации / В. В. Корчинский** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 89-94. – Бібліогр.: 6 назв.

Розглядаються питання застосування шумових сигналів в сучасних конфіденційних системах зв'язку. Запропоновано математичну модель шумового сигналу для задачі синтезу сигнальних конструкцій з заданими спектральними та автокореляційними характеристиками.

**Ключові слова:** шумовий, хаотичний, сигнал, спектр, конфіденційний.

The issues of application of noise signals in modern confidential communications systems is considered. The mathematical model of the noise signal for the problem of synthesis signaling constructions with predetermined spectral and autocorrelation characteristics is proposed.

**Keywords:** noisy, chaotic, the signal, spectrum, confidential.

УДК 681.32

**В. О. ГАЄВСЬКА**, канд. техн. наук, доц., ХНУБА, Харків;

**В. А. ШУР**, канд. техн. наук, с. н. с., ХНУБА, Харків;

**А. Ю. КАБИШ**, аспірант, ХНУБА, Харків

## **УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ БУДІВНИЦТВА ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ПИТНОЇ ВОДИ З ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ**

Розглянута проблема управління унікальними проектами створення систем виробництва нефасованої питної води з підземних джерел в складі конкретних проектів в межах керованої організаційно-технічної системи «Управління будівельними проектами в сфері постачання населенню нефасованої питної води з підземних джерел» (УБП ПВ).

**Ключові слова:** Поверхневі води, підземні води, водопостачання, проблема, будівельний проект, система, виробництво, реалізація.

**Постановка проблеми.** Дефіцит та низька якість питної води в Україні є однією з головних загроз здоров'ю населення. Поширюються захворювання від її споживання. Вона є чинником виникнення й ускладнення більш 70 % хвороб, особливо онкологічних[1-7].

Поверхневі води забезпечують 95 % всієї потреби питної води, підземні – 5 % [1-3]. Підземні води більш захищені від забруднення.

Понад 80 % населення України забезпечується централізовано питною водою з поверхневих вод, яка в більшості регіонів країни не відповідає санітарно-гігієнічним та екологічним вимогам: нешкідливість хімічного складу, безпечність у епідемічному відношенні, сприятливі органолептичні властивості та радіаційна безпечність [1-2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** Загальна проблема забезпечення

© В. О. ГАЄВСЬКА, В. А. ШУР, А. Ю. КАБИШ, 2013

населення якісною питною водою вирішується шляхами поліпшенням стану систем централізованого водопостачання, виробленням фасованої та нефасованої води. Система постачання нефасованої питної води населенню передбачена чинним Законом України [2].

Нефасована питна вода здобувається з підземних джерел й додатково очищується, транспортується автоцистернами в задані пункти розливу громадянам в їхню тару. Замовникам питна вода поставляється за визначеними адресами у погоджений час. Замовник має право загодя замовити потрібний йому хімічний склад питної води та її органолептичні властивості.

Одним з стримуючим факторів у розвитку цієї системи є відсутність науково обгрунтованих проектів будівництва об'єктів виробництва нефасованої води та управління ними [6-7]. Це обумовлює необхідність пошуку нових підходів до методів, засобів, моделей управління такими будівельними проектами. В працях [6-8] розглянуто шляхи вирішення окремих задач проблеми постачання населенню нефасованої питної води з підземних джерел.

Цілью (метою) проектів будівництва об'єктів виробництва нефасованої води в складі комплексних проектів в системі УБП ПВ є надійне і повне забезпечення виробництва якісної і дешевої нефасованої питної води з використанням сучасних технологій її виробництва, методологій управління проектами та виробничої логістики [8-9].

*Невирішені частини загальної проблеми.* Однією з невирішених частин загальної проблеми є відсутність науково обгрунтованих шляхів управління проектами в сфері постачання населенню нефасованої питної води з підземних джерел, в т.ч. управління проектами будівництва об'єктів виробництва нефасованої води з підземних джерел.

*Цілі статті.* Розробити систему управління проектами будівництва об'єктів виробництва нефасованої води з підземних джерел.

#### **Основні результати досліджень.**

Розроблена керована організаційно-технічна система «Управління будівельними проектами в сфері постачання населенню нефасованої питної води з підземних джерел» (УБП ПВ), яка включає в себе конкретний будівельний проект в складі трьох унікальних простих проектів.

Часи дії конкретних будівельних проектів повинні відповідати термінам, встановленим Законами України [2,3].

Загальна ціль та підцілі конкретного будівельного проекту в межах системи УБП ПВ надано на рис.1. Цей проект передбачає створення системи виробництва нефасованої питної води з підземних джерел (проект А), організацію систем транспортування нефасованої питної води споживачам (проект Б) та її збуту населенню, юридичним і фізичним особам (проект В).

Розглянемо особливості управління проектом «Створення системи виробництва нефасованої питної води з підземних джерел» (проект А).

Сутність цього проекту визначають три стандартних елементи: задачі проекту, методи і засоби їх вирішення, його цілі (мета) і підцілі.

Основною задачею і метою цього проекту є покращання здоров'я громадян України шляхом забезпечення їх на конкретній території міста, селища дешевою нефасованою питною водою нормативної якості. Розглянемо методи, засоби вирішення задачі і досягнення мети проекту.

На початку проектування об'єкту виробництва питної води з підземних джерел необхідно провести оцінку впливу будівництва об'єкту на навколишнє середовище [10-11] і одержати загальні результати геологічних і гідрогеологічних, санітарно-епідеміологічних та екологічних досліджень (моніторингу) у вигляді санітарно-епідеміологічного висновку та висновку екологічної експертизи.

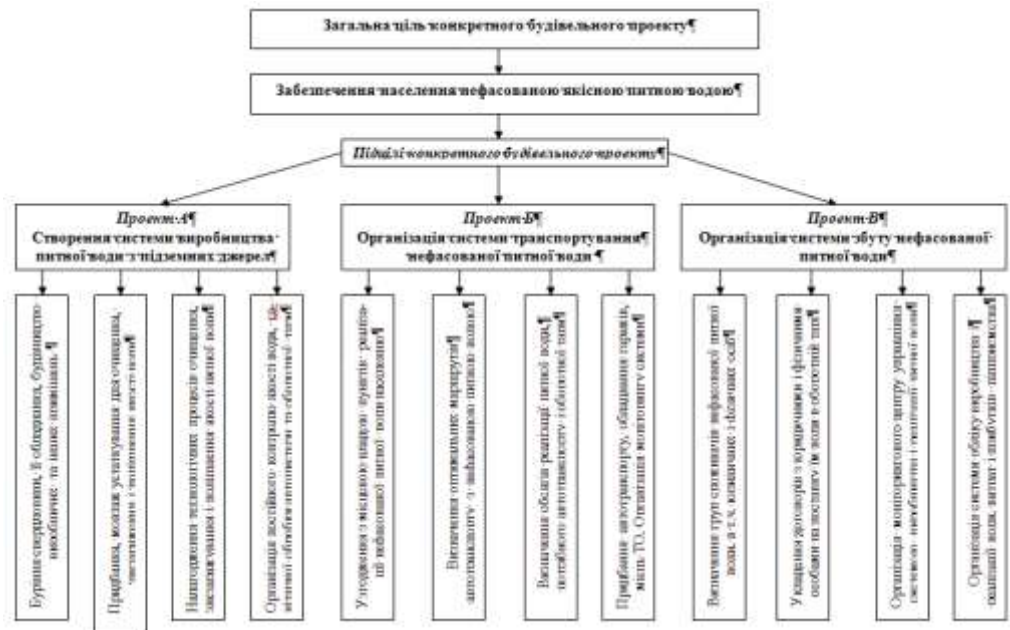


Рис.1 - Загальна ціль та підділі конкретного будівельного проекту в сфері постачання населенню нефасованої якісної питної води з підземних джерел в складі трьох унікальних простих проектів в межах системи УБП ПВ

Загальні результати цих досліджень повинні включати дані щодо організації санітарної охорони підземного джерела, необхідності додаткової обробки підземної води із джерела, санітарної характеристики існуючої чи планової конструкції водозабору, ступені захищеності джерела від зовнішніх забруднень, радіаційну якість води і ін.

Після узгодження з відповідними органами рішення щодо організації виробництва питної води з підземного джерела можна розпочинати розробку проекту А, який включає в себе наступні основні етапи: розробка проектної документації, в тому числі техніко-економічне обґрунтування проекту; буріння свердловини і її оснащення, будівництво виробничих й інших приміщень, придбання і монтаж устаткування й оснащення для підготовки підземної води, в т.ч. для її знезаражування, очищення, корегування й доведення складу води до нормативного; монтаж ємностей для готової води; налагодження технологічних процесів, організація служб диспетчеризації і контролю якості нефасованої питної води і ін. Всі ці роботи виконують за договорами (контрактами) з підприємством - виробником нефасованої питної води спеціалізовані організації в обумовлений термін.

Пропонується в проект А включати 16 основних комплексів робіт:

**Комплекс А1.** Збір і аналіз ступені забезпечення питною водою населення на території, де планується реалізація проекту, відповідність її гігієнічним та екологічним вимогам вітчизняних, європейських та стандартів ВОЗ, долі захворювань громадян від споживання неякісної води. Це дасть можливість обґрунтувати необхідність постачання населенню нефасованої питної води нормативної якості.

**Комплекс А2.** Проведення сумісно із громадськими об'єднаннями, організаціями та органами місцевої влади соціологічних досліджень для визначення обсягів потрібної для населення, інших споживачів нефасованої питної води.



*Комплекс А3.* Визначення наявності і територіального розташування джерел підземної води в регіоні, які потенційно можуть бути використані для виробництва нефасованої питної води.

*Комплекс А4.* Визначення сумісно з відповідними службами екологічної ситуації в зонах розташування потенційних джерел підземної води.

*Комплекс А5.* Проведення сумісно з місцевими службами СЕС дослідження якості підземної води в цих джерелах, відповідності їх санітарно-гігієнічним та екологічним вимогам вітчизняних, європейських та стандартів ВОЗ, розроблення прогнозу зміни якості підземної води.

*Комплекс А6.* Визначення сумісно із службами гідрогеологічної і геологічної розвідки ресурсів й добового дебету джерел підземної води.

*Комплекс А7.* Вибір оптимального варіанту розташування джерел підземної води і підприємств для виробництва якісної нефасованої питної води, узгодження його з відповідними органами місцевої влади і одержання ліцензії на виробництво і постачання населенню нефасованої питної води.

*Комплекс А8.* Проведення робіт з буріння й оснащення свердловини для видобутку підземної води.

*Комплекс А9.* Спорудження виробничих приміщень для видобутку і обробки підземної води, придбання необхідного устаткування й оснащення, транспортних та інших технічних засобів, особливо засобів для поточного контролю якості готової питної води.

*Комплекс А10.* Розрахунок кількості робочих місць та працівників (фахівців), необхідних для надійної роботи підприємства - виробника питної води.

*Комплекс А11.* Влаштування та навчання працівників для роботи по виробництву нефасованої питної води з підземних джерел, контролю її якості..

*Комплекс А12.* Налагодження технологічних процесів видобутку підземної води, її очищення, знезаражування, контролю якості, збереження в ємностях.

*Комплекс А13.* Створення системи моніторингу технологічних процесів виробництва питної води.

*Комплекс А14.* Створення системи оперативного моніторингу виконання робіт з виробництва, транспортування й збуту нефасованої питної води.

*Комплекс А15.* Розробка системи виробничої логістики.

*Комплекс А16.* Виконання інших робіт, які можуть виникати в процесах реалізації комплексів робіт А1 –А15.

Фрагмент комплексу робіт А1 проекту А «Створення системи виробництва питної води з підземних джерел» на технологічних рівнях 3 - 5 в системі УБП ПВ наданий на рис.2.

Проектно-орієнтована організація сумісно з підприємством - замовником проекту А розробляє для кожного комплексу робіт А1–А16 склад укрупнених, детальних і одиничних робіт, оцінює їх обсяг, вартість, перелік необхідних матеріалів, устаткування, оснащення, визначає замовників і виконавців робіт, розраховує вартість та виконує техніко-економічне обґрунтування проекту, узгоджує його з замовником проекту, відповідними органами місцевої влади, службами, організаціями.

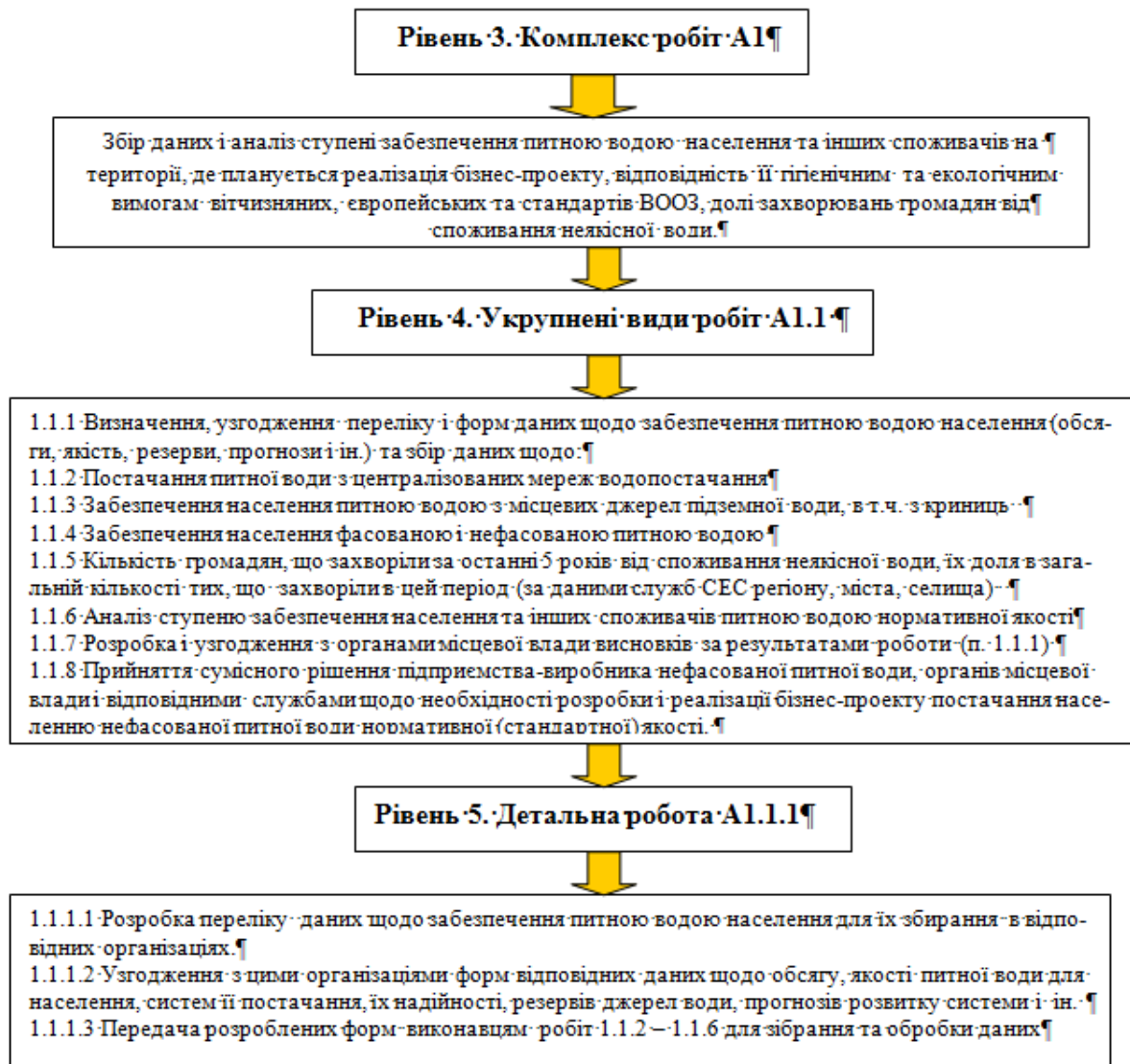


Рис. 2 - Фрагмент комплексу робіт А1 проекту А «Створення системи виробництва питної води з підземних джерел» на технологічних рівнях 3 –5 в межах системи УБП ПВ

На рис. 3 надана структурна декомпозиція проекту А «Створення системи виробництва питної води з підземних джерел» в межах системи УБП ПВ.

Схема технологічного процесу, устаткування і оснащення, що пропонуються для виробництва питної води з підземних джерел надана на рис. 4.

Операції 1-8 контролює оператор. При виявленні недоліків в роботі устаткування, оснащення, які порушують хід технологічного процесу, оператор інформує про це фахівців, що технічно обслуговують це устаткування, оснащення, а також моніторинговий центр (МЦ) підприємства. Після усунення виявлених недоліків оператор інформує МЦ. На етапі виходу (операція 9) інформація про обсяг готової питної води, що була залита в автоцистерни і в оборотну тару, поступає автоматично в режимі реального часу до МЦ.



Рис. 3 - Структурна декомпозиція проекту А «Створення системи виробництва питної води з підземних джерел»

Це дає змогу забезпечити надійний моніторинг роботи всієї системи виробництва нефасованої питної води і дозволяє своєчасно корегувати виробничий розклад виробництва по кожній операції в частині об'ємних та часових характеристик матеріальних потоків, який є основою ефективної системи виробництва нефасованої питної води з підземних джерел.

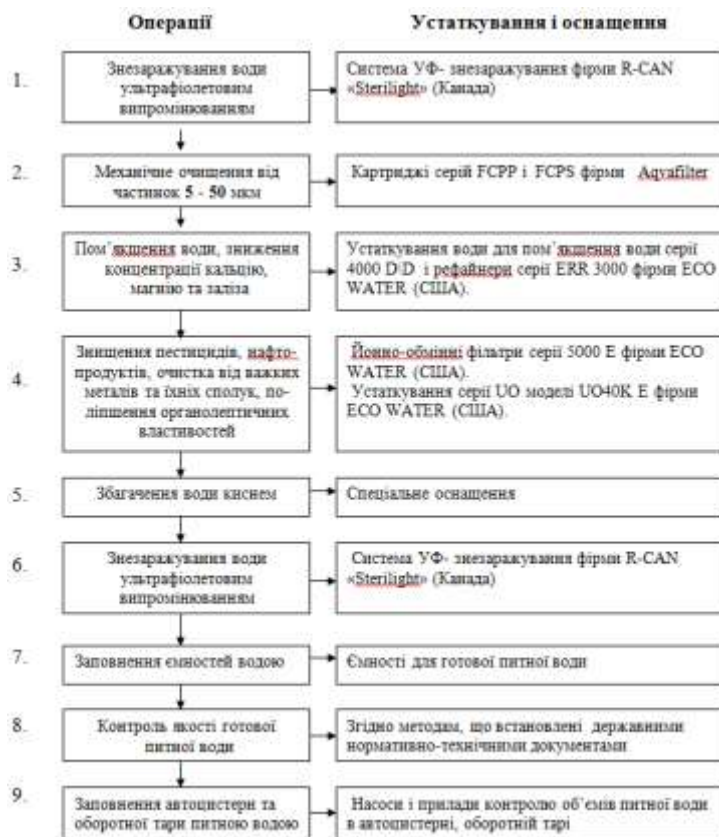


Рис. 4 - Схема технологічного процесу, устаткування і оснащення для виробництва питної води з підземних джерел (проект А)

**Висновки.** Розроблена система управління унікальними проектами створення систем виробництва нефасованої питної води з підземних джерел в складі конкретних проектів в межах керованої організаційно-технічної системи «Управління будівельними проектами в сфері постачання населенню нефасованої питної води з підземних джерел» (УБП ПВ).

Система передбачає чотири основні напрямки організації процесів виробництва нефасованої питної води: технічне і санітарно-епідеміологічне обслуговування, моніторинг безпосередньо процесів виробництва питної води та її реалізації.

**Список літератури:** 1. Про питну воду та питне водопостачання. Закон України № 2918 від 10.01.2002 р. 2. Про Загальнодержавну програму «Питна вода України на 2006-2020 роки». Закон України від 03.03.2005 р. № 2455 3. Загальнодержавна цільова програма "Питна вода України" на 2011-2020 роки. Закон України від 20.10.2011 р. № 3933 4. А. М. Котляр. Сучасні проблеми питної прісної води. - Х.: Факт, 2002. - 232 с. : іл. 5. А. М. Котляр, В. А.Шур, І. М. Кузьмін, А. Ю. Гаєвська. Нові гігієнічні та екологічні вимоги до питної води // Коммунальное хозяйство городов: Научн.-техн.сб. – К. Техніка. 2008. Вып. 91 – с. 127-132. 6. А. Ю. Гаєвська, В. Г. Зайцева. Альтернативні шляхи забезпечення населення якісною нефасованою питною водою. Науковий вісник будівництва –Харків. 2009. № 52. с.174-184. 7. І. А. Зубкова, А. М. Котляр, Ю. А. Лець, С. М. Радунова, В. А. Шур. Шляхи розвитку систем постачання населенню сучасного міста питної води високої якості. Х.: Факт, 2011 – 120 с. 8. Малєєва О. В. Методологічні основи системного аналізу якості проектів та програм розвитку виробництва. Автореф.дис ... д.т.н. Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2003. - 36с. 9. І. М. Смирнов. Міська логістика та створення логістичних парків в Україні // Комму-нальное хозяйство городов. Научн.-техн. сб. Вып.69. К.: Техніка, 2006. – С. 137 – 143. 10. Оцінка впливів на навколишнє середовище (ОВНС). ДБН А.2.2-3-2004. Додаток К (обов'язковий) 11. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) про проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. ДБН А.2.2.-1-2003

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК 681.32

**Управління проектами будівництва об'єктів виробництва питної води з підземних джерел / В. О. Гаєвська, В. А. Шур, А. Ю. Кабиш // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 94-100. – Бібліогр.: 11 назв.**

Рассмотрены проблемы управления уникальными проектами создания систем производства нефасованной питьевой воды из подземных источников в составе конкретных проектов в рамках управляемой организационно-технической системы «Управление строительными проектами в области поставки населению нефасованной питьевой водой из подземных источников» (УСП ПВ).

**Ключевые слова:** поверхностные воды, подземные воды, водоснабжение, проблемы, строительный проект, , производство, реализация.

Considered the problem of unique projects creating production systems nefasovanoї drinking water from underground sources in the specific projects within a managed organizational and technical Management of the building projects in the field of drinking water supply nefasovanoї with underground springs» (UBP PW).

**Keywords:** surface water, underground water, water supply, problem, project, construction, manufacturing, system implementation.

УДК 621.396

**В. А. ЛОШАКОВ**, канд. техн. наук, проф., ХНУРЕ, Харьков;  
**В. Г. ЛИХОГРАЙ**, канд. физ.-мат наук, доц., ХНУРЕ, Харьков;  
**АЛ-ДЖАНАБИ ХУССАМ ДХЕА**, аспирант, ХНУРЕ, Харьков;  
**НУХ ТАХА НАСИФ**, аспирант, ХНУРЕ, Харьков

## **АДАПТИВНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ LTE С ММО**

В данной работе рассматриваются вопросы пространственной обработки сигналов в системах сотовой связи долгосрочного развития (LTE - Long Term Evolution), в которых для передачи

© В. А. ЛОШАКОВ, В. Г. ЛИХОГРАЙ АЛ-ДЖАНАБИ ХУССАМ ДХЕА, НУХ ТАХА НАСИФ, 2013

и/или приема информации применяется технология многоэлементных антенных систем с многими входами – многими выходами (MIMO - Multiple Input Multiple Output). Анализируются основные характеристики системы связи LTE с MIMO (пропускная способность, вероятность битовой ошибки) в пространственных каналах с релейскими и райсовскими замираниями сигналов. Рассматриваются особенности использования методов адаптации для повышения качества связи в системах LTE.

**Ключевые слова:** LTE, MIMO, BER, SNR, релейский канал, замирание.

### Введение

К настоящему времени разработано большое число методов повышения качества связи в системах LTE, основанных на более полном использовании частотного и пространственного ресурса, а также цифровой обработки сигналов [1]. При этом появились широкие возможности по адаптации сигнально-кодовых конструкций многопозиционной модуляции к реально складывающейся помеховой обстановке. Разработка оптимальных по выбранным критериям алгоритмов адаптации невозможна без объективной оценки параметров быстро меняющихся пространственных каналов. Для анализа процессов в условиях отсутствия прямой видимости в работе использована релейская модель канала передачи. Для имитационного моделирования процессов физического уровня в LTE использована общая математическая модель для различных конфигураций MIMO и основных видов модуляции. Разнесение на приемной и передающей стороне выбиралось в зависимости от используемой конфигурации MIMO.

### Вероятность битовой ошибки в однолучевом релейском канале

Среда передачи для средств мобильной связи LTE представляет в основном радиолинии при отсутствии прямой видимости, где электромагнитные волны приходят в точку приема в результате многолучевого распространения, что вызывает флуктуации амплитуды, фазы, временной задержки, угла прибытия принимаемого сигнала и как следствие – его замирания (fading). Принимаемый сигнал представляет собой сумму отдельных волн, отраженных от достаточно большого числа отражателей и рассеивателей, расположенных случайным образом вокруг мобильного терминала. Нестационарное поведение пространственных многолучевых каналов вследствие замираний является главной проблемой беспроводных телекоммуникаций в плане обеспечения требуемых высоких характеристик (пропускной способности, вероятности битовой ошибки и т.д.) [5].

При двоичной фазовой модуляции каждый сигнал переносит один бит данных. Оптимальный приемник (рис.1) состоит из двух корреляторов, которые определяют корреляцию принимаемого сигнала с каждой из 2 возможных гипотез. На выходе приемника будет сформирован импульс с максимумом в момент времени  $t=T_s$ . При этом выходное отношение сигнал/шум (SNR) не зависит от формы импульса, а зависит только от энергии сигнала  $E_s$  и равно  $\rho=2E_s/N_0$  [2].

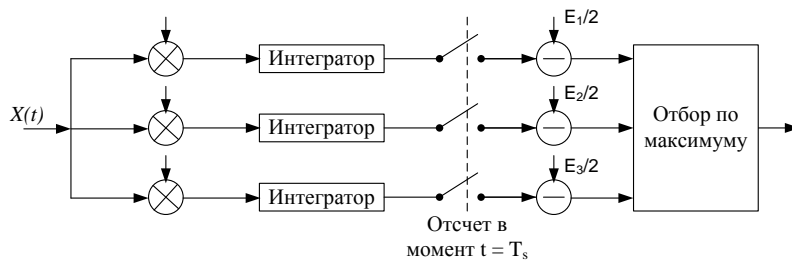


Рис.1 - Схема оптимального приемника

Предположим, что сигналы  $d_1$  и  $d_2$  передаются с одинаковой вероятностью и принимаются на фоне гауссова шума  $n(t)$  приемника с нулевым средним и

дисперсией  $0.5N_0$ . Учтем, что для сигналов с двоичной фазовой модуляции энергия  $E_s$  импульса совпадает с энергией бита  $E_b$ . Тогда выходной сигнал можно записать как

$$x = \sqrt{E_s}hd + n, \quad (1)$$

где  $h$  – нормированный коэффициент передачи канала. Предполагается, что дисперсия коэффициента  $h$  равна единице, средняя мощность шума  $\sigma_0^2 = 0.5 \cdot N_0$ , а мгновенное SNR равно

$$\rho = \rho_0|h|^2, \quad (2)$$

где  $\rho_0 = E_s/N_0$  – среднее SNR на символ.

В многолучевом канале амплитуда  $|h|$  коэффициента передачи имеет релеевское распределение. Следовательно, случайное SNR  $\rho$  будет иметь экспоненциальное распределение вида

$$f(\rho) = \frac{1}{\rho_0} \exp\left(-\frac{\rho}{\rho_0}\right). \quad (3)$$

SNR является случайной величиной и для нахождения среднего значения BER сначала нужно найти BER для всех возможных значений SNR. Затем должно быть выполнено усреднение этой ошибки, используя функцию плотности вероятности. Следовательно, чтобы найти BER при передаче через релеевский канал необходимо вычислить интеграл

$$BER = \int_0^{\infty} f(\rho)BER(\rho)d\rho, \quad (4)$$

где  $BER(\rho)$  – вероятность битовой ошибки в гауссовом шумовом канале без замираний при SNR равном  $\rho$ .

Вероятность  $BER(\rho)$  при бинарной модуляции определяется интегралом ошибок Гаусса  $Q(x)$  [3]:

$$BER(\rho) = \frac{1}{2} [1 - Q(\sqrt{2 \cdot \rho})], \quad (5)$$

где  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$  или  $Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$ ,  $\operatorname{erfc}(x)$  – функция ошибок (функция Лапласа).

Таким образом, для BPSK модуляции получаем

$$BER = \int_0^{\infty} \frac{1}{\rho_0} \exp\left(-\frac{\rho}{\rho_0}\right) \frac{1}{2} [1 - Q(\sqrt{2\rho})] d\rho. \quad (6)$$

Для BPSK модуляции соответственно в гауссовском и релеевском каналах находим:

$$BER = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{2\rho_0}}{\sqrt{2}}\right) \right]; \quad (7)$$

$$BER = \frac{1}{2} \left[ 1 - \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_0 + 1}} \right]. \quad (8)$$

При больших SNR ( $\rho \gg 1$ ) выражение BER для релеевского канала (8) упрощается и принимает вид

$$BER \approx \frac{1}{4\rho_0}. \quad (9)$$

Видно что, при больших SNR вероятность битовой ошибки в релейском канале обратно пропорциональна среднему SNR.

**Вероятность битовой ошибки в многолучевом релейском канале при произвольном числе антенн системы MIMO.**

Рассмотрим MIMO систему (рис.2), состоящую из  $M$  передающих и  $N$  приемных антенн в предположении отсутствия частотных селективных замираний в многолучевом пространственном канале [4-5]. При этом свойства пространственного канала определяются вектором - столбцом  $\mathbf{H} = (h_1, h_2, \dots, h_N)^T$  коэффициентов передачи, где  $(.)^T$ - знак транспонирования.

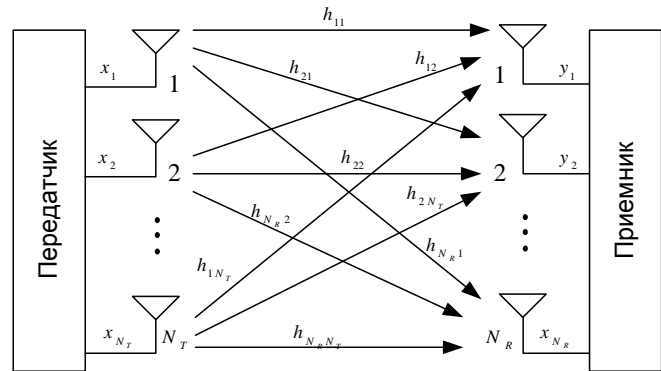


Рис.2 - Структурная схема MIMO системы

Если передается сигнал  $d(t)$ , то вектор  $\mathbf{X}$  принятых сигналов равен

$$\mathbf{X}(t) = \sqrt{P_0} \mathbf{H}d(t) + \mathbf{N}(t), \tag{10}$$

где  $\mathbf{N}(t)$ - вектор собственных шумов.

Сигналы различных антенн суммируются с весовыми коэффициентами, являющимися соответствующими элементам весового вектора  $\mathbf{W}$

$$y(t) = \mathbf{W}^H \mathbf{X}(t) = \mathbf{W}^H \sqrt{P_0} \mathbf{H}d(t) + \mathbf{W}^H \mathbf{Z}(t). \tag{11}$$

В результате суммирования выходное SNR  $\rho$  существенно возрастает до величины [2]

$$\rho = \rho_0 |\mathbf{W}^H \mathbf{H}|^2. \tag{12}$$

Для всех приемных антенн, чтобы обеспечить максимум SNR на выходе, весовой вектор должен быть параллелен вектору  $\mathbf{H}$  коэффициентов передачи, то есть  $\mathbf{W} = \alpha \mathbf{H}$ , где  $\alpha \leq 1$  – некоторое число не влияющее на величину SNR. При  $\alpha = 1$  векторы  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{H}$  параллельны друг другу и их скалярное произведение максимально

$$\rho = \rho_0 \mathbf{H}^H \mathbf{H} = \rho_0 \sum_{p=1}^N |h_p|^2. \tag{13}$$

Сравнивая (13) с (2) видно что при оптимальном весовом суммировании выходное SNR представляет собой сумму SNR в каждой приемной антенне.

BER в системе LTE с MIMO зависит от характера корреляции замираний сигналов в приемных антеннах (от полностью коррелированных до некоррелированных между собой замираний сигналов).

Для полностью коррелированных замираний из (13) получаем выражение

$$\rho = \rho_0 N |h|^2, \tag{14}$$

которое описывает ситуацию идентичную приему на одну антенну (см. выражение (2)), но имеющую в  $N$  раз большее усиление. При этом, учитывая (8), получаем выражение для BER

$$BER = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{N\rho_0}{N\rho_0 + 1}} \right). \tag{15}$$

При достаточно большом SNR ( $N\rho_0 \gg 1$ ) BER равен

$$BER \approx \frac{1}{4N\rho_0}. \tag{16}$$

В случае полностью некоррелированных замираний сигналов, учитывая (7) для плотности вероятности, имеем [2]:

$$f(\rho) = \frac{1}{(N-1)! \rho_0^N} \rho^{N-1} \exp\left(-\frac{\rho}{\rho_0}\right), \quad (17)$$

Тогда на основании (4) получаем

$$BER = \int_0^\infty \frac{1}{(N-1)! \rho_0^N} \rho^{N-1} \exp\left(-\frac{\rho}{\rho_0}\right) \frac{1}{2} [1 - Q(\sqrt{\rho})] d\rho. \quad (18)$$

При больших SNR ( $\rho_0 \gg 1$ ) вероятность ошибки уменьшается обратно пропорционально SNR в степени, равной числу приемных антенн

$$BER \approx 1/\rho_0^N. \quad (19)$$

### Результаты моделирования

Имитационное моделирование процессов на физическом уровне в системе LTE с MIMO проведено с использованием общей математической модели для различных видов пространственной конфигурации каналов и основных видов модуляции для двух случаев: без обратной связи и с обратной связью.

Случай без обратной связи характерен для условий быстрого изменения состояния канала и высокоскоростной мобильности [3]. Для разделения пространственных каналов предполагается применение пространственно-временное блочное кодирование по Аламути [4].

Результаты моделирования представлены на рис. 3а, где можно видеть, что для схемы SIMO 1x2 значение  $BER=10^{-4}$  обеспечивается при  $SNR=5,2$  дБ; для SIMO 1x4 то же значение  $BER=10^{-4}$  обеспечивается при  $SNR=2,4$  дБ; для SIMO 1x6 –  $SNR=0,6$  дБ, а для SIMO 1x8 значение  $BER$  меньше  $10^{-4}$ .

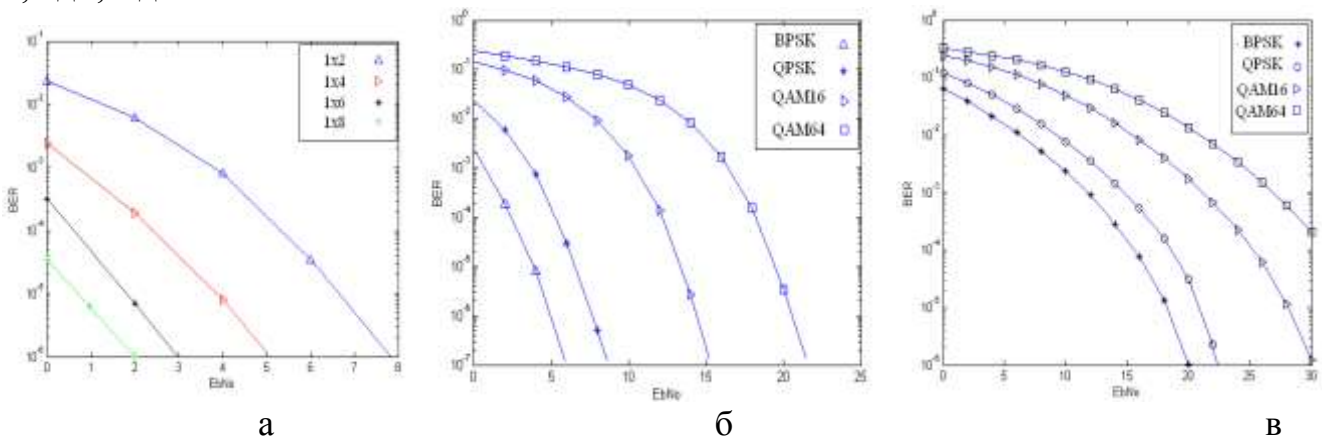


Рис. 3 - Результаты моделирования для LTE с MIMO без обратной связи: а - BER с различным числом приемных антенн; б - BER с различным видом модуляции; в - BER при различных передачах каналов

Сравнение характеристик качества связи LTE с SIMO при различных видах модуляции и их позиционности производилось для модели SIMO 1x4 (рис. 3б). Для  $BER=10^{-4}$  с учетом BPSK значение  $SNR = 2,4$  дБ, QPSK –  $SNR = 5$  дБ, QAM16 –  $SNR = 13$  дБ и QAM64 –  $SNR = 18$  дБ.

Зависимости на рис.3б получены при условии, что отношение сигнал-шум на всех приемных антеннах одинаково, что на практике не обеспечивается для SIMO. Поэтому проведено имитационное моделирование SIMO 1x4 с учетом влияния коэффициентов передачи каналов  $|h_i|^2$  на мощность суммарного принимаемого сигнала. Результаты моделирования приведены на рис.3в, из которого видно, что в



этом случае характеристики системы ниже, чем представленные на рис.3б. Так, для BER= $10^{-4}$  при BPSK значение SNR =15.5 дБ, при QPSK – SNR =18 дБ, при QAM-16 – SNR =25,1 дБ и при QAM-64 – SNR=31 дБ.

Результаты имитационного моделирования MIMO с обратной связью приведены на рис.4. Характер полученных кривых свидетельствует о худших характеристиках качества системы связи, чем у рассмотренных выше. Для BPSK SNR = 23 дБ, QPSK – SNR =29 дБ, в то время, как при QAM-16 и QAM-64 - SNR >36 дБ. Причиной низких показателей качества является практически отсутствие разнесения. Каждый параллельный канал работает как система SISO. Однако данный метод имеет и серьезное достоинство - возможность существенного увеличения пропускной способности при использовании алгоритма создания избытка информации. Естественно, что увеличение пропускной способности достигается за счет увеличения SNR. Результаты имитационного моделирования при реализации алгоритма создания избытка информации путем применения различных MIMO комбинаций представлены на рис. 5.

В системах LTE с MIMO предусматривается возможность повышения качества связи с использованием адаптивной модуляции за счет управления сигнальным созвездием (путем изменения позиционности модуляции) в зависимости от SNR. Когда отношение SNR высокое - используется самая высокая позиционность модуляции. При ухудшении помеховой обстановки и уменьшении SNR – позиционность уменьшается. Такой механизм позволяет системе предотвращать влияние глубоких замираний в мобильном LTE и вызванных этим нарушения связи за счет адаптации к изменяющимся условиям. Однако такая, адаптивная модуляция, предусмотренная стандартом LTE, не всегда достаточно эффективна. Поэтому предлагается дополнительно использовать адаптивную модуляцию в различных каналах MIMO.

Метод адаптивной модуляции в каналах MIMO предполагает одновременное использование различных типов модуляции в различных MIMO каналах в зависимости от затухания в канале. В сильных каналах используется, например, QAM64, QAM16, а в слабых QPSK или BPSK.

Зависимости BER и скорости передачи от SNR при использовании адаптации в каналах MIMO с замкнутой петлей при различных скоростях перемещения мобильного терминала представлены в нижней части рис. 6 и 7. В верхней части рис. 6 для сравнения приведены те же зависимости без адаптации.

Как видно, результаты имитационного моделирования подтверждают заметное улучшение основных характеристик качества системы LTE с MIMO за счет использования адаптивной модуляции в пространственных каналах.

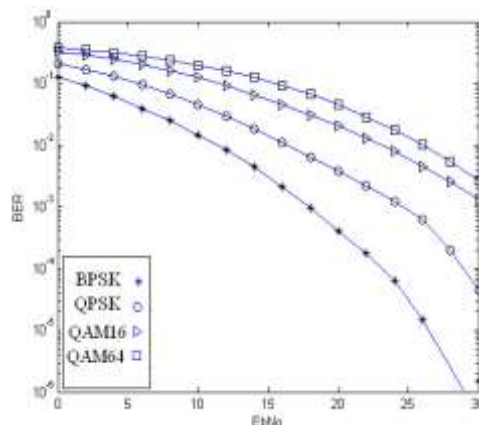


Рис.4 -Система MIMO 2x2 с замкнутой петлей

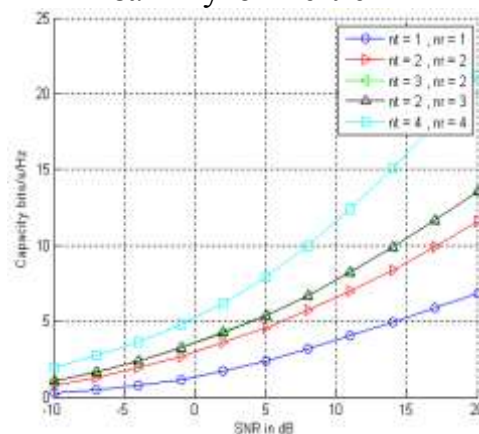


Рис.5 - Зависимость пропускной способности от SNR

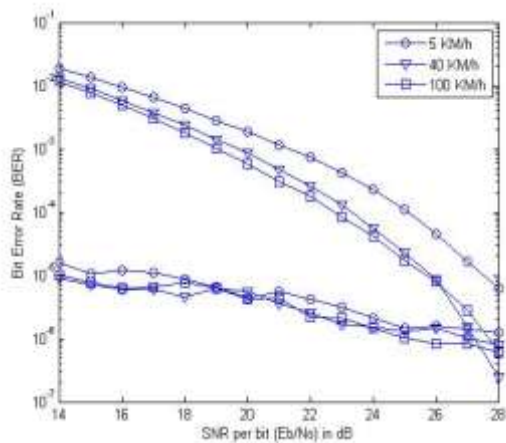


Рис.6 - Адаптивная модуляция в релейском канале

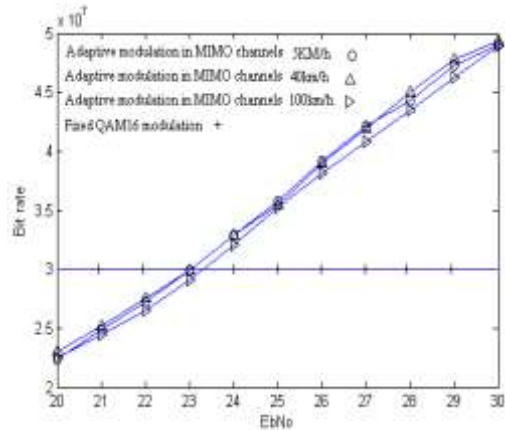


Рис.7 - Зависимость скорости передачи от SNR при использовании адаптивной модуляции

## Выводы

Важным направлением развития систем LTE с MIMO является их адаптация к изменениям параметров канала, обеспечивающая наиболее полное использование имеющегося временного, пространственного и частотного ресурса, чтобы минимизировать передаваемую мощность и, в то же время, увеличить пропускную способность системы связи. При этом появляются широкие возможности по адаптации сигнально-кодовых конструкций к реально складывающейся сигнальной и помеховой обстановке. Например, применение многопозиционных методов модуляции, реализуемое во временной области, позволяет существенно увеличить скорости передачи при фиксированной ширине частотного канала, либо сохранить приемлемое значение BER при несколько уменьшенной скорости передачи.

**Список литературы:** 1. *Stefania S.* LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice [Текст] / *S. Stefania, T. Issam, B. Matthew* // John Wiley and Sons Second Edition. – 2011. – pp. 778. 2. *Ермолаев, В. Т.* Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи [Текст] / *В. Т. Ермолаев, А. Г. Флакман.* // Нижний Новгород, 2006. — 100 с. 3. *Levin G.* Capacity analysis of asymptotically large MIMO channels [Текст] / *G. Levin* // university of ottawa, canada. - 2008 - p.15 -143. 4. *Марчук, А. В.* Адаптивные модуляция сигналов в каналах MIMO [Текст] / *А. В. Марчук, З. Вадиа, Х. Ал-Джаноби* // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - 2010. - Вып. 163.- с.122-128. 5. *Лихограй В. Г.* Пропускная способность случайных каналов MIMO [Текст] / *В. Г. Лихограй, В. С. Вовченко, Т. Н. Нух* // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - 2012. - Вып. 169.- с. 182-189.

Надійшла до редколегії 28.02.2013

УДК 621.396

**Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах LTE с MIMO / В. А. Лошаков, В.Г. Лихограй, Ал-Джаноби Хуссам Дхеа, Нух Таха Насіф** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 100-107. – Бібліогр.: 5 назв.

В даній роботі розглядаються питання просторової обробки сигналів у системах стільникового зв'язку LTE, у яких для передачі та/або прийому інформації застосовуються антени систем MIMO. Аналізуються основні характеристики систем LTE з MIMO (пропускна здатність, ймовірність бітової помилки в каналах з релієвськими та райсівськими завмираннями сигналів). Розглядаються особливості використання методів адаптації для підвищення якості зв'язку в системах LTE.

**Ключові слова:** LTE, MIMO, BER, SNR, релієвському канал, завмирання.

This work the spatial processing of signals in cellular LTE are considered, in which to send and / or receive information used antenna systems MIMO. The main characteristics of LTE communication systems with MIMO (bandwidth, bit-error probability in channels with Rayleigh and Rician fading signals) are analyzed. The features of adaptation methods to improve the quality of communication systems LTE are considered.

**Keywords:** LTE, MIMO, BER, SNR, Rayleigh channel, fading.

## УДК 37.004.85

**О. В. ІОВЕНКО**, канд. техн. наук, пров. наук.спів., Державна науково-виробнича корпорація «Київський Інститут автоматики» Київ;

**Т. М. КОТ**, канд. техн. наук, с. н. с., Державна науково-виробнича корпорація «Київський Інститут автоматики », Київ;

**В. В. МАЛИШЕВ**, д-р хім. наук, проф., директор, Інженерно-технологічний інститут Відкритого міжнародного університету розвитку людини “Україна”, Київ;

**О. В. КОШУКОВ**, канд. техн. наук, доц., зав. каф., Інженерно-технологічний інститут Відкритого міжнародного університету розвитку людини “Україна”, Київ

**В. М. ПЕРЛІЙ**, директор, НВП «ПРОТЕК»,. Київ

### **ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «АВТОЕКЗАМЕНАТОР «ОХОРОНА ПРАЦІ». ЗАДАЧІ, ЯКІ ВИРІШУЄ КОМПЛЕКС В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ**

В роботі проаналізовано сучасні системи організації навчального процесу – традиційну, модульну, кредитно-модульну. Показан перелік завдань, які має вирішувати автоматизований програмний комплекс «Автоекзаменатор «Охорона праці» для підвищення їх ефективності.

**Ключові слова:** : навчальний процес , традиційна, модульна, кредитно-модульна системи, «Автоекзаменатор «Охорона праці».

#### **Введення**

Стрімке і постійне зростання обсягу і складності матеріалу, що вивчається, необхідність його швидкого оновлення призводять до пошуку нових більш ефективних методів навчання. Світовий досвід показує, що один із шляхів підвищення ефективності процесу навчання - використання комп'ютерних технологій.

#### **Мета роботи**

Метою роботи є аналіз сучасних систем навчання, які використовуються для підготовки слухачів з питань охорони праці, і висновки про те, які завдання повинна вирішувати автоматизована навчальна система для максимізації ефективності навчання.

#### **Аналіз сучасних методів навчання та їх особливостей**

У вищих навчальних закладах України найбільш поширеними є традиційна, модульна і кредитно-модульна системи організації навчального процесу [1-3].

**Традиційна система організації навчального процесу** налаштована на масову підготовку слухачів за базовими навчально-тематичним планом і програмою

Навчально-тематичний план регламентує теми, які будуть вивчатися у процесі

© О. В. ІОВЕНКО, Т. М. КОТ, В. В. МАЛИШЕВ, О. В. КОШУКОВ, В. М. ПЕРЛІЙ, 2013

навчання, і кількість академічних годин на навчальні і контролюючі заходи за цими темами. Навчальна програма розкриває зміст тем і включає перелік літератури, яка буде використовуватись у процесі підготовки дидактичного матеріалу.

Дидактичний матеріал, що використовується у традиційному навчальному процесі, це, як правило, – тексти чи тези лекцій, підручники, нормативно-правові акти і документи, тощо.

Традиційна система навчального процесу базується на використанні наступних форм навчання:

- 1 лекції;
- 2 практичні заняття (семінари, ділові ігри, дискусії і таке інше);
- 3 самостійна робота під контролем викладача (заняття у комп'ютерних класах, лабораторні, практичні роботи);
- 4 науково-практичні роботи (курсіві, випускні кваліфікаційні роботи).

У традиційній системі навчальний процес реалізується за робочим навчальним планом і програмою, які формуються на основі навчально-тематичного плану і програми. Навчальний процес носить синхронний (груповий) характер, тобто слухачі учбового закладу, незалежно від їх початкового рівня підготовки, синхронно навчаються в групах за єдиним навчальним планом і програмою.

У традиційній системі навчального процесу оцінювання вхідного рівня знань зазвичай не проводиться. Використовуються поточний та підсумковий контроль знань.

Поточний контроль знань по темі або сукупності тем реалізується за допомогою заліку або іспиту. Залік та іспит можуть проводитись у формі співбесіди, письмової контрольної роботи, тестування.

Підсумковий контроль знань реалізується за допомогою «загального» іспиту і/або випускної кваліфікаційної роботи. «Загальний» іспит (випускна кваліфікаційна робота) проводиться за всіма темами, які включено в навчальну програму.

Роль, яку відіграє викладач в навчальному процесі, – передача знань слухачам і контроль засвоєння цих знань. При цьому викладач, як правило, проводить і поточний, і підсумковий контроль знань.

**Концепція модульного навчання** прийнята Міжнародною Організацією Праці, як базова концепція професійної підготовки.

Модульна система навчального процесу суттєво відрізняється від традиційної системи.

При впровадженні модульної концепції навчання велика увага приділяється розробці дидактичних матеріалів, що націлені на подальшу практичну професійну діяльність слухачів навчальних закладів. Зміст дидактичного матеріалу повинен відображати ті знання, які будуть потрібні слухачам при вирішенні ними виробничих завдань на підприємстві.

Дидактичний матеріал в модульній системі складається із модулів. Кожний модуль включає певну кількість навчальних елементів, які або передають теоретичні знання за певною темою, або описують практичні уміння, необхідні для вирішення конкретного виробничого завдання.

У навчальному елементі в текстовому вигляді подається дидактичний матеріал, що описує або закінчений фрагмент теоретичних знань, або одне практичне уміння. Навчальні елементи можуть інтегруватися у різні навчальні програми і мають механізми, що роблять таку інтеграцію можливою.

Схема організації навчального процесу, що базується на концепції модульного навчання, наступна:

1. оцінювання вхідного рівня знань слухача;
2. формування індивідуального навчального плану, де зафіксовано знання (навички), якими повинен оволодіти слухач, щоб ліквідувати виявлені під час вхідного тестування прогалини в його знаннях;
3. поступове вивчення слухачем запланованих частин дидактичного матеріалу (модулів, навчальних елементів) і оцінювання його поточного рівня знань за кожною вивченою частиною матеріалу;
4. порівняння досягнутого рівня знань з тим рівнем знань, який слухач повинен мати по вивченому модулю (навчальному елементу), і при необхідності вибір шляхів і засобів для ліквідації відмінності вказаних рівней знань, тобто корегування індивідуального навчального плану.

Концепція модульного навчання передбачає суто індивідуальний підхід. Кожний слухач навчального закладу навчається за індивідуальним навчальним планом. В результаті організація навчального процесу носить асинхронний характер.

У модульній системі організації навчального процесу акцент робиться на самостійну роботу слухачів. Слухачі самостійно вивчають модулі і вирішують тестові завдання, що входять до їх складу. За результатами самотестування вони або переходять до вивчення наступних модулів, або повертаються до повторного вивчення окремих навчальних елементів поточного модулю.

При такій схемі організації навчального процесу докорінно змінюється роль викладача. Він стає індивідуальним консультантом кожного слухача у процесі його самостійної роботи. За результатами вхідного і поточного контролю знань викладач складає і корегує індивідуальні навчальні плани слухачів.

**Кредитно-модульна система організації навчального процесу** реалізує основні принципи ступінчастої системи освіти відповідно до Болонської декларації. Кредитно-модульна система розроблена відповідно до норм Європейської кредитно-трансфертної системи, яка забезпечує єдину міждержавну процедуру оцінювання знань і порівняння результатів навчання.

Кредитно-модульна система організації навчального процесу будується на модульних технологіях навчання з використанням системи залікових кредитів.

Весь дидактичний матеріал освітньо-професійної програми і окремих дисциплін (тем) розбивається на окремі змістовні модулі, зв'язані структурно-логічною схемою, що визначає послідовність вивчення модулів.

Змістовний модуль – це логічно завершений обсяг навчального матеріалу, який повинен засвоїти слухач навчального закладу, або закінчена частина освітньо-професійної програми (навчальної діяльності), яку слухач повинен виконати. Звичайно змістовні модулі є розділами навчальної дисципліни (теми) і включають взаємопов'язані частини теоретичного і практичного навчального матеріалу.

Завершена задокументована частина навчальної дисципліни, яка підлягає обов'язковому оцінюванню, є заліковим модулем. Заліковий модуль формується як сукупність тісно пов'язаних між собою змістовних модулів. Обсяг навчального навантаження залікового модуля вимірюється у залікових кредитах.

Форми організації навчання в кредитно-модульній системі відповідають традиційним формам.

Схема організації процесу навчання на основі кредитно-модульної системи наведена на рис. 1.

Однією з важливих рис кредитно-модульної системи, яка сприяє підвищенню ефективності навчального процесу, є можливість індивідуалізації навчального процесу. Це забезпечується введенням індивідуальних навчальних планів і програм слухачів. Індивідуальні навчальні плани і програми розробляють, виходячи з рівня підготовки слухача, його побажань і робочого навчального плану. Індивідуальний навчальний план може стосуватися вивчення певної кількості або всіх модулів навчальної дисципліни.

Не зважаючи на можливість індивідуалізації навчального процесу, у більшості вищих навчальних закладів, в яких впроваджено кредитно-модульну систему, процес навчання базується на робочих навчальних планах і програмах з дисципліни. Індивідуальні навчальні плани використовуються фрагментарно. В результаті навчального процесу, як і в традиційній системі, носить зазвичай синхронний (груповий) характер.

Основний акцент у кредитно-модульній системі зроблено на контроль засвоєння знань слухачами. Використовуються три види контролю: поточний, модульний та підсумковий.

Поточний контроль виконується у процесі навчання на лекціях, семінарських і практичних заняттях.

Модульний контроль виконується по завершенні вивчення модуля, і на нього виділяється окремий час у робочому навчальному плані.

Підсумкова оцінка з дисципліни (теми) виставляється за результатами іспиту з урахуванням оцінок, що їх було одержано слухачем за заліковими модулями.

Роль викладача у кредитно-модульній системі така ж, як і у традиційній системі, але при збільшенні долі індивідуалізованого навчання вона може змінюватись. Викладач починає відігравати роль індивідуального консультанта і бере на себе функцію розробки і корегування індивідуальних навчальних планів і програм.

Як показує світовий досвід підвищення ефективності кожної з описаних систем організації навчального процесу можливо за рахунок впровадження автоматизованої системи навчання і контролю знань. Ця система повинна вирішувати перелічені нижче задачі.

1. Розробка та зберігання дидактичного матеріалу в електронному вигляді. Дидактичний матеріал повинен включати різноманітні навчальні матеріали - тексти лекцій, підручників, навчальних елементів, змістовних модулів і т. ін. Дидактичний матеріал повинен бути таким, щоб його можна було використовувати у традиційній, модульній та кредитно-модульній системах організації процесу навчання. Для проведення контролюючих заходів для дидактичного матеріалу повинні бути підготовлені тестові завдання, що відображають його зміст.

2. Формування викладачем навчальних програм для різних категорій (груп) слухачів. При формуванні навчальних програм викладачу повинні бути надані наступні можливості:

а) завдання категорії слухачів, для якої формується навчальна програма, і тем, що входять до цієї програми;

б) відбір часток дидактичного матеріалу, потрібних для навчання за певною темою заданої категорії слухачів;

в) завдання способів навчання і тестування за кожною темою в залежності від категорії слухачів.

3. Проведення навчання, самопідготовки на основі сформованих дидактичних матеріалів. При роботі з комп'ютером слухач повинен мати можливість:

- а) ознайомитися з текстами навчальних матеріалів;
- б) ознайомитися з тестовими завданнями;
- в) пройти самотестування по вивченому навчальному матеріалу;
- г) у разі потреби ознайомитися з текстом того фрагменту дидактичного матеріалу, за яким було сформоване тестове завдання.

4. Проведення тестування. Система повинна підтримувати вхідне, поточне і підсумкове тестування. В процесі тестування слухачу повинна бути надана можливість відповісти на тестові запитання за темою. За результатами тестування повинна автоматично формуватися оцінка і звіт про тестування. В звіті про тестування повинен бути відображений профіль знань слухача і загальна оцінка по темі.

5. Підтримка дистанційного навчання. Система повинна надавати можливість організації дистанційного навчання, яке базується на використанні інтернет-технологій.

### **Висновки**

Автоекзаменатор „Охорона праці”, який призначено для навчання і перевірки знань з питань охорони праці, вирішує всі перелічені вище задач [4].

Експлуатація Автоекзаменатора „Охорона праці” показала, що його використання в навчальному процесі призводить до:

- - підвищення ефективності навчання, тобто більш поглибленого вивчення матеріалу за менший строк; вказане досягається завдяки використанню правильно структурованого наглядного дидактичного матеріалу, подальшій індивідуалізації процесу навчання (можливості роботи за індивідуальними планами і програмами, в індивідуальному темпі і т. ін.), наявності механізму постійного самоконтролю, що призводить до кращого закріплення знань;

- - підвищення якості і об'єктивності оцінювання знань внаслідок автоматизації контролю знань і виключення з цього процесу людського фактору;

- - підвищення ефективності роботи викладачів навчальних закладів; зменшується час, який викладачі витрачають на другорядні роботи: підготовку навчальних матеріалів, тестових завдань, індивідуальних планів і програм, перевірку контрольних завдань. Викладач все більше працює як консультант, менше – як суб'єкт, що передає інформацію;

- - підвищення відкритості і гнучкості навчального процесу; в результаті індивідуалізації процесу навчання і підтримки комп'ютерною системою самостійної роботи слухача за індивідуальними планами і програмами виникає можливість одночасно навчати слухачів з різним початковим рівнем знань, включати слухачів в навчальний процес в різні моменти часу.

Таким чином, підвищення ефективності навчання з питань охорони праці при використанні будь-якої з описаних систем організації навчального процесу можливе за рахунок впровадження комп'ютерних технологій навчання, що може бути реалізовано, наприклад, на використанні Автоекзаменатора "Охорона праці".

**Список літератури:** 1. *Ортинський, В. Л.* Педагогіка вищої школи: навч. посіб. [Текст] / – К.: Центр учбової літератури. 2009. – С. 472 с. 2. *Туркот, Т. І.* Педагогіка вищої школи: навч. посіб. [Текст] / – К.: Кондор, -2011. – С.628. 3. *Дичківська, І. М.* Інноваційні педагогічні технології: Навчальний посібник. [Текст] / – К.: Академвидав, -2004. – С.351. 4. *Т. М.Кот, О. В.Кошуків, А. В. Русаловський.* Автоматизація навчання і перевірки знань . [Текст] /– Вісник НАУ, -2007.- № 3-4, – С.174-176.

*Надійшла до редколегії 25.02.2013*

**Програмний комплекс «Автоекзаменатор «охорона праці». Задачі, які вирішує комплекс в навчальному процесі / О. В. Іовенко, Т. М. Кот, В. В. Малишев, О. В. Кошуков, В. М. Перлій, // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 107-112. – Бібліогр.: 4 назв.**

В работе проанализированы современные системы современного обучающего процесса – традиционная, модульная, кредитно-модульная. Перечислены задачи, которые должна решать автоматизированный программный комплекс «Автоэкзаменатор «Охрана труда» для увеличения её эффективности.

**Ключевые слова:** обучающий процесс, традиционная, модульная, кредитно-модульная системы, «Автоэкзаменатор «Охрана труда» .

In this paper the current systems of the learning process – traditional, modular, credit-module, – are analyzed. The tasks that automated training complex «Autoexaminer «Labour protection» has to solve to improve their effectiveness are shown.

**Key words:** learning process, traditional, modular, credit-module process, «Autoexaminer «Labour protection».

## УДК 621.391

**Ю. А. ВАСИЛЕНКО**, зам. дир., филиал ЗАО «Киевстар Дж. Ес. Ем», Харьков;  
**Я. Т. ХУССЕЙН**, аспирант, ХНУРЕ, Харьков

### **АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ МНОГОСТАНЦИОННОМ ДОСТУПЕ**

Рассматривается вероятностная модель показателя полезного использования канала, при комбинированном многостанционном доступе, оценка которого дает возможность произвести анализ эффективности метода доступа при увеличении абонентской нагрузки

**Ключевые слова:** метод доступа, двойной экспоненциальный откат, коэффициент использования канала, таймслот

Пропускная способность, эффективность использования канала, качество обслуживания QoS во многом зависит от выбора метода многостанционного доступа (МД). За последние годы МД как правило развивается в направлении модернизации методов с контролем несущей (CSMA Carrier Sense Multiple Access), берущих свое начало от метода АЛОНА. В своей простейшей форме данный метод основан на том, что абонентские станции или сенсорные узлы сканируют в выделенной полосе частот и во временном окне размером  $T$  начинают передавать свою информацию, если точка доступа, базовая станция (БС) или узел сбора сенсорной информации находится в режиме ожидания. В противном случае попытка передачи повторяется. Такой метод МД прост и надежен в реализации, не требует тактовой синхронизации. Вместе с тем, АЛОНА обладает рядом недостатков: реальная пропускная способность системы падает пропорционально количеству и активности элементов доступа, снижается коэффициент использования канала.

Более перспективным оказывается комбинированный метод МД [1], основанный на объединении CSMA TDMA (Time Division Multiple Access) – метод доступа с разделением информационных потоков по времени. Бесконфликтность передачи при МД TDMA достигается за счет жесткой тактовой синхронизации сети и соблюдения последовательности передачи пакетов от каждого из объектов. На практике, когда не все абоненты оказываются активными, соответственно снижается производительность системы. Такой метод МД носит еще название поллинга.

© Ю. А. ВАСИЛЕНКО, Я. Т. ХУССЕЙН, 2013



Рассмотрим более подробно функционирование комбинированного метода МД. Следует отметить, что один из таких методов МД – метод двойного экспоненциального отката (ВЕВ – Binary Exponential Backoff) получил популярность у специалистов. Основная особенность метода ВЕВ в том, что при очередной конфликтной ситуации для  $i$ -абонентской станции (сенсорного узла) повторный доступ разрешается через экспоненциальный временной интервал (откат). Известна и иная реализация отката, когда выбор успешного слота осуществляется по случайному закону. При этом слот выбирается на основе случайного распределения  $P_i$ , при котором выборе первых слотов  $i=1,2,\dots$  назначается низкая вероятность, а для последующих  $i=\dots n-1, n$  вероятность пропорционально возрастает:

$$P_i = \frac{(1-d)d^n}{1-d^n} d^{-n}, \quad (1)$$

где  $d < 1$  выбирается исходя из количества слотов [2]. Проведем анализ комбинированного метода МД.

### Вероятностная модель комбинированного МД

Показателем полезного использования канала может служить отношение

$$k = \tau_y / \tau_n, \quad (2)$$

где  $\tau_y$  - время, затрачиваемое на успешную передачу одного пакета,  $\tau_n$  - среднее время, которое затрачивает система для передачи одного пакета. Очевидно, что  $k \leq 1$ .

Обозначим вероятности, связанные с временными характеристиками:

$P_k$  - вероятность возникновения конфликта;

$P_y$  - вероятность успешного исхода;

$P_p$  - вероятность ожидания пакета в очереди, в периоды разрешения конфликта.

Данные вероятности образуют полную группу событий, поэтому

$$P = P_k + P_y + P_p = 1. \quad (3)$$

Несмотря на то, что в системе период  $T$  разделен на слоты, для абонентского узла (АУ) средний размер окна оказывается меньше из-за наличия откатов. Размер окна  $W$  является случайной величиной. Среднее его значение:

$$W_0 = (W - 1) / 2.$$

Определим вероятность использования канала. Учитывая (2) имеем:

$$P(m, W) = \frac{\tau_y P_y}{\tau_n \cdot P_k + \tau_n \cdot P_y + \tau_p P_p}. \quad (4)$$

Найдем значения вероятности. Вероятность того, что  $j$ -й успешный слот находится в режиме ожидания, равна вероятности того, что ни один из АУ не выбрал данный таймслот. Учитывая то, что в конфликте может участвовать  $m$  узлов, вероятность того, что некий узел выберет данный слот во время  $t$  равна  $1/W_0$ , таким образом

$$P_t = (1 - 1/W_0)^m. \quad (5)$$

### Описание функции модели комбинированного МД

Каждый алгоритм МД как правило в свою очередь состоит из двух других алгоритмов: АДК – алгоритм доступа к каналу и АРК – алгоритм разрешения конфликта. АДК – регламентирует процедуру доступа абонентов к среде передачи, в то время как АРК – задает правило для разделения конфликтов между пакетами при

одновременной передаче от двух или более объектов. Время разрешения конфликта  $\tau_p$ .

Выведем следующие предположения, которые обычно выполняются на практике:

1. Пусть сотовая или сенсорная система имеет  $N$ -абонентских узлов. Время распространения сигнала  $t_p$  между каждым из  $i$ -узлов и базовой (центральной) станцией  $t_p = R/c$  значительно меньше среднеквадратического значения нестабильности в системе тактовой синхронизации, где  $R$  – расстояние между АУ<sub>*i*</sub> и БС,  $c$  – скорость распространения света. Все АУ и БС находятся в синхронизме.

2. Каждый АУ имеет информационный пакет, готовый для передачи и пытается передать его на БС как можно быстрее в соответствии с МАС протоколом.

3. Передача пакета осуществляется после начального отката  $i$ -м АУ, если свободно соответствующее информационное пространство. Если канал занят, то АУ приостанавливает откат и принимает пакет от БС. В конце приема продолжается попытка передачи со случайным значением отката.

4. В протоколе МАС имеется два различных вида отката – начальный (перед приемом передачи) и перегрузочный для случаев, когда канал определяется как занятый.

Одновременно с этим, на тех же линиях определим вероятность того, что данный таймслот, который будет использоваться для успешной передачи, равен вероятности того, что один АУ выберет данный таймслот, а все остальные выберут другие таймслоты:

$$P_y = \sum_m (1/W_o) \cdot (1-1/W)^{m-1} = (m/W_o)(1-1/W_o)^{m-1}. \quad (6)$$

Значения вероятности столкновения найдем из (2):

$$P_k = 1 - P_y - P_p.$$

Подставляя (5) и (6) в (7) получаем:

$$P_k = 1 - (m/W_o)(1-1/W_o)^{m-1} - (1-1/W_o)^m = 1 - (1-1/W_o)^{m-1}(m/W_o + 1/W_o - 1). \quad (8)$$

В итоге искомая вероятность выражается в виде:

$$P(m, w) = \frac{\tau_y (m/W_o)(1-1/W_o)^{m-1}}{\tau_n(1-(1-1/W_o)^{m-1}(m/W_o + 1/W_o - 1)) + \tau_n (m/W_o)(1-1/W_o)^{m-1} + \tau_p(1-1/W)^m}. \quad (9)$$

Для получения численных данных по коэффициенту использования (2) можно получить распределения (9) и найти соответствующее математическое ожидание. Однако, поскольку мы в расчетах использовали средние значения, то подставив их

$P(m, W_o)$ , получим оценку коэффициента  $k$ .

Расчетные значения, полученные по формуле (9) представлены в виде графика на рис.1. Для определенности были взяты следующие исходные данные: окно начальное 32, окно перегрузки 16. Как и следовало ожидать, значения коэффициента  $k$  падает с увеличением активных АУ. Небольшой завал в начале графика, связанный очевидно с несовершенством модели.

Приводим здесь также результаты

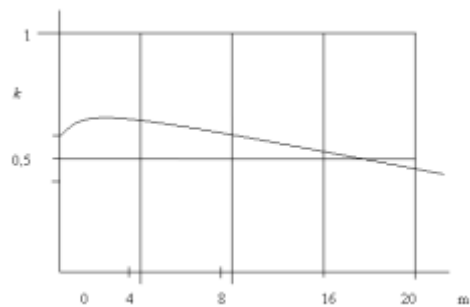


Рис.1 - График зависимости вероятности использования таймслота для успешной передачи от количества АУ

сопоставления протокола ВЕВ с методом поллинга, полученный в нашей работе [5].

На рис.2 представлен график зависимости среднего времени задержки пакета от параметра  $D = np/L$ , где  $n$  – число активных АУ в технологии ВЕВ,  $p$  – вероятность запроса,  $L$  – число мини-окон, в которых принимаются запросы от АУ на передачу пакета. Очевидно  $N$  – характеризует среднюю нагрузку системы.

### Выводы

1. Полученное значение вероятности полезного использования канала в комплексной технологии CSMA/TDMA, анализ которого показал, что с увеличением числа активных сенсорных датчиков, абонентских станций и др. происходит плавное снижение коэффициента использования.

2. Сравнительная эффективность технологии ВЕВ, относящийся к группе CSMA/TDMA показал, что данный метод случайного множественного доступа имеет преимущество в области относительно низких нагрузок. С увеличением нагрузки следует переходить к регулярным методам доступа (поллингу).

**Список литературы:** 1. *Yu. Y., Giannakis G. B.* High-throughput random access using successive interference cancellation in a tree algorithm. / *Yu. Y., Giannakis G. B.* // IEEE Transactions Inform. Theory. – 2007.– V.53, № 12. P. 4628-4639. 2. *Андреев, С. Д.* Древовидный алгоритм разрешения конфликта, устойчивый к неполному погашению интерференции. / *С. Д.Андреев, Е. В.Пустовалов, А. М. Тюрликов* // Автоматика и телемеханика.– 2009.– № 3. С. 78-96. 3. *Апарцин, А. С.* К исследованию устойчивости решений полиномиального уравнения Вольтера 1 рода / *А. С. Апарцин* // Автоматика и телемеханика. – 2011.- № 6. - С. 95-114. 4. *Поповский, В. В.* Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах [Текст] : учеб. / *В. В. Поповский, В. Ф. Олейник.*– Х.: СМИТ, 2011.-362с. 5. *Наорс И Анад.* Совершенствование механизмов случайного множественного доступа в системах беспроводной связи. /*Наорс И. Анад, Я. Т. Хусейн* // Вісник НТУ ХПІ. – 2011. – № 25. – С. 108 – 115. 6. *V. Tur, Hussein Yahya.* Successive Interference Cancellation Method in Tree Algorithms of Random Multiple Access//TCSET-2012. Lviv, Slavske, p.232. 7. *Popvskij, V.* Control and Adaptation in Telecommunication Systems: Mathematical Foundations / *Popvskij V, Barkalov A., Titarenko L.* – Springer.-2011.- 173 p.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК 621.391

**Анализ вероятностных характеристик при комбинированном многостанционном доступе / Ю. А. Василенко, Я. Т. Хусейн** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 112-115. – Бібліогр.: 7 назв.

Розглядається ймовірнісна модель показника корисного використання каналу, при комбінованому багатостанційному доступі, оцінка якого дає можливість провести аналіз ефективності методу доступу при збільшенні абонентського навантаження.

**Ключові слова:** метод доступу, подвійна експоненційна відстрочка, ко-фіцієнт використання каналу, таймслот

We consider the probabilistic model parameter of useful channel in the combined multiple access, which allows assessment to analyze the effectiveness of the access method with increasing user traffic.

**Keywords:** access method, binary exponential backoff, coefficient of the channel, timeslot

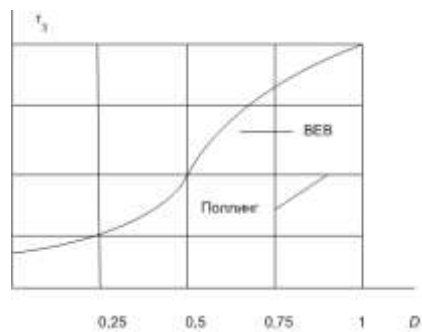


Рис. 2 - График зависимости среднего времени задержки пакета от средней нагрузки

*З. П. ФЕДЯКІНА*, зав. відділом, УкрНДІОЖ НААН, Харків;  
*Т. В. МАТВЄЄВА*, канд. техн. наук, доц., с.н.с., УкрНДІОЖ НААН, Харків;  
*І. Є. ШАПОВАЛОВА*, зав. лабораторії, УкрНДІОЖ НААН, Харків;  
*І. П. ПЕТИК*, м.н.с. УкрНДІОЖ НААН, Харків

### КУПАЖУВАННЯ ОЛІЙ З ОПТИМІЗОВАНИМ ЖИРНОКИСЛОТНИМ СКЛАДОМ

Шляхом купажування олій можна одержати продукти зі збалансованим жирнокислотним складом поліненасичених жирних кислот (ПНЖК)  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3. Здійснено літературний пошук, щодо створення купажів олій з підвищеною біологічною цінністю. Обрано та розглянуто органолептичні, фізико-хімічні показники і жирнокислотний склад олій на основі яких в подальшому буде створено купажі олій функціонального призначення.

**Ключові слова:** олії, купажування, поліненасичені жирні кислоти  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3.

Харчування людини базується на трьох основних речовинах: білках, вуглеводах та жирах. Жири для організму людини мають велике значення та складають приблизно 30 % денного раціону [1], а їх нестача в раціоні харчування викликає порушення діяльності нервової системи, знижує імунітет та підвищує ризик тяжких захворювань, наприклад атеросклерозу [1]. Це пов'язано, перш за все, з наявністю у жирах таких кислот, як  $\alpha$ -ліноленової та лінолевої. Обидві ці кислоти є продуктами біосинтезу олеїнової кислоти. В організмі людини з  $\alpha$ -ліноленової та лінолевої кислот утворюються ейкозапентаєнова і докозагексаєнова та  $\gamma$ -ліноленова кислоти, відповідно. Крім того з лінолевої кислоти при наявності вітаміну  $B_6$  і токоферолу утворюється арахідонова кислота. Однак її надлишок (більш ніж 2 г на добу) для організму людини має негативний вплив, а тому джерело її синтезу – лінолеву кислоту потрібно блокувати за допомогою ліноленової кислоти [2].

В Україні, як і в багатьох країнах колишнього Радянського Союзу населення споживає багато жирів, які вміщують жирні кислоти сімейства  $\omega$ -6 – соняшникову, кукурудзяну олії, а олії з вмістом жирних кислот сімейства  $\omega$ -3, такі як лляну, ріпакову та соєву, практично повністю виключено з раціону харчування [1]. Але згідно рекомендацій Українського НДІ харчування співвідношення поліненасичених жирних кислот (ПНЖК)  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 здорової людини повинно складати приблизно (9...10) : 1, а у випадках патології обміну ліпідів співвідношення знижується до 5 : 1 – 3 : 1. Однак, на даний час середньостатистична людина потребує ПНЖК у співвідношенні  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 від 10 : 1 до 30 : 1 [3].

Дослідженнями жирнокислотного складу різних олій встановлено, що у природі олій зі збалансованим складом ПНЖК  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3 не існує. А тому дослідження, які направлені на розробку олії, яка б мала збалансований жирнокислотний склад, гарні органолептичні показники, невисоку собівартість і була конкурентоспроможною, є актуальним.

Деякі вчені [4, 5] вважають, що існують різні шляхи насичення організму людини ПНЖК, наприклад, розробка генномодифікованих олійних рослин з підвищеним вмістом ПНЖК, зокрема  $\omega$ -3; використання біологічно активних добавок з вмістом  $\omega$ -3; підвищення використання у харчуванні олій з підвищеним вмістом ПНЖК; створення купажів і застосування їх в розробках жирових продуктів харчування, зокрема, емульсійних продуктів.

© З. П. ФЕДЯКІНА, Т. В. МАТВЄЄВА, І. Є. ШАПОВАЛОВА, І. П. ПЕТИК, 2013

Найбільш простим в апаратурному оформленні, а тому і маловитратним є розробка технології одержання купажованих олій. До того ж олії і різні емульсійні продукти на їх основі є традиційними продуктами харчування для населення України. Концепція купажування олій і жирів, як головний напрямок в розробці жирових продуктів функціонального призначення, була розроблена російськими вченими наприкінці ХХ століття [4, 5, 6]. Для розробки купажів рекомендовано використовувати доступні олії, такі як соняшникову, кукурудзяну, оливкову, ріпакову, лляну та соєву [2]. Однак, слід зазначити, що ріпакова олія складно піддається рафінації, соєву [7] та лляну [8, 9] – додають до купажів не більш ніж 20 – 30 % та 5 %, відповідно, так як підвищення їх погіршує смакові властивості продукту, а купажі до складу яких входить лляна олія можуть використовуватися лише у холодному вигляді і впродовж нетривалого часу [8, 9].

В роботах [9 – 15] для розробки купажів, які забезпечують співвідношення жирних кислот  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3, запропоновано використовувати основні олії, такі як оливкову, лляну та як додаткові – кукурудзяну, соняшникову. Авторами робіт [16, 17] для розробки купажів з потрібним вмістом  $\omega$ -3 використано соняшникову, соєву та лляну олії. В останній час в літературі зустрічається багато прикладів купажів на основі нетрадиційних олій, таких як гарбузової, конопляної, рижикової та з зародків пшениці [4, 18, 19, 20]. Одержання купажів на основі даних олій у великих масштабах маловірогідне, тому що ці олії для харчових потреб із-за високої собівартості в Україні практично не виробляють.

В Україні фірмою «Дельфа» розроблено серію салатних олій функціонального призначення «Богатырское», «Целительное» та «Пикантное», до складу яких увійшли такі олії, як соняшникова, гірчична, кукурудзяна, лляна, виноградна, гарбузова [21]. В Росії та Беларусі, також як і в Україні, вченими ведуться розробки рецептур купажованих олій для здорового харчування. В Росії, наприклад, створено та науково обґрунтовано найбільш раціональні за жирно-кислотним складом купажі рослинних олій «Новое» (на основі соняшnikової та ріпакової олій), «Сибирское» та «Буковинское» (на основі соняшnikової та соєвої олій) [22]. В Беларусі розроблено наступні рецептури олій «Золотистое» (на основі ріпакової та соняшnikової олій), «Лянок» (на основі соняшnikової та лляної олій), «Беларусское» (на основі соняшnikової, ріпакової та лляної олій). При проведенні аналізу жирнокислотного складу беларуських купажованих олій встановлено, що співвідношення жирних кислот  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 в олії «Золотистое», «Лянок». «Беларусское» становить 5 : 1, 11 : 1, 8,5 : 1, відповідно [23]. В Беларусі для виробництва купажованих олій розроблено технічні умови «Олії харчові купажовані». В Росії підготовлено та підтверджено нормативну документацію на рафіновану рослинну олію «Калитва» на основі соняшnikової, соєвої та ріпакової олій [24]. В Україні УкрНДІОЖ НААН розроблено ДСТУ 4536 : 2006 «Олії купажовані. Технічні умови», в якому надано 24 рецептури купажів олій.

На основі огляду літератури, авторами дослідження для розробки купажу обрано три рафіновані рослинні олії: соняшnikова, ріпакова та соєва. Цей вибір обумовлено різними складовими. Наприклад, соняшnikова олія – олія, яка більш за все використовується, а її смак є традиційним для населення України. Ріпакова олія має невисоку собівартість, а ріпак, рослина з якої одержують олію, займає приблизно 10 % загальної площі посівів олійних культур у світі і з кожним роком ця цифра буде лише підвищуватися. Соєва, також як і ріпакова олія, найбільш розповсюджена олія

на світовому ринку. В табл. 1, табл. 2 та табл. 3 надано органолептичні, фізико-хімічні показники та жирнокислотний склад обраних олій.

Таблиця 1 - Органолептичні показники зразків олій

Найменування показника	Соняшникова олія	Ріпакова олія	Соева олія
Прозорість	Прозора, без осаду	Прозора, без осаду	Прозора, без осаду
Запах, смак	Без запаху, смак знеособленої олії	Без запаху, смак знеособленої олії	Без запаху, смак знеособленої олії
Колір	Світло-жовтий	Жовтий, з легким зеленуватим відтінком	Жовтий

Таблиця 2 - Фізико-хімічні показники зразків олій

Найменування олій	Відносна густина	Кольорове число, мг I <sub>2</sub>	Кислотне число, мг КОН / г	Пероксидне число, <sup>1</sup> / <sub>2</sub> O ммоль/кг
Соняшникова	920	10	0,3	2,0
Ріпакова	915	10	0,4	3,8
Соева	925	11	0,25	3,7

Таблиця 3 - Жирнокислотний склад олій

Жирні кислоти	Соняшникова олія	Ріпакова олія	Соева олія
Насичені (НЖК), %	11,0	9,4	14,0
В т.ч. пальмітинова, %	6,3	7,6	9,9
стеаринова, %	4,6	1,7	4,0
Мононенасичені (МНЖК), %	26,9	60,9	24,0
В т.ч. олеїнова, %	26,7	59,7	23,8
Поліненасичені (ПНЖК), %	62,1	29,7	62,0
В т.ч. лінолева, %	62,0	20,7	55,9
ліноленова, %	0,1	8,9	5,9

За результатами табл. 3 можна з'ясувати, що не одна з олій не відповідає вимогам співвідношення поліненасичених жирних кислот  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3.

Для вирішення задачі оптимізації жирнокислотного складу шляхом купажування використовують різні математичні методи, зокрема метод на основі з'ясування максимуму узагальненої цільової функції, використання монограм, метод лінійного програмування, метод «золотого січення» та ін. [5, 6, 25, 26]. В основу розрахунку збалансованих купажів олій може бути положено співвідношення  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3, яке повинно складати від 1 : 5 до 1 : 10, при цьому співвідношення ПНЖК : НЖК повинно складати від 1 : 1 до 2 : 1, вміст транс-ізомерів жирних кислот – не більш 8 %. Авторами [27] пропонується використовувати наступні вимоги до співвідношення жирних кислот у купажах функціонального призначення: 35 – 45 % ПНЖК (з яких 3 – 8 %  $\omega$ -3 – жирних кислот та 29 – 37 %  $\omega$ -6 – жирних кислот), 30 – 35 % МНЖК та 28 – 35 % НЖК. Таким чином можна зробити висновок, що співвідношення ПНЖК : МНЖК : НЖК у збалансованій олії повинно складати 1 : 1 : 1.

**Висновок:** Здійснено огляд літератури стосовно розробки рецептур купажів олій. Обрано та розглянуто органолептичні, фізико-хімічні показники і жирнокислотний склад олій на основі яких в подальшому буде створено купажі

функціонального призначення. Визначено критерії які найбільш повно характеризують збалансованість жирнокислотного складу.

**Список літератури:** 1. Сикоев З. Х. Улучшение потребительских свойств растительного масла методом купажирования / З. Х. Сикоев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 1094 – 1096. 2. Степычева Н. В., Фудько А. А. Купажированные растительные масла с оптимизированным жирно-кислотным составом / Н. В. Степычева, А. А. Фудько // Химия растительного сырья. – 2011. – №2. – С. 27 – 33. 3. Тутельян В. А. Стратегия разработки, применения и оценки эффективности биологически активных добавок к пище / В. А. Тутельян // Вопросы питания. – 1996. – №6. – С. 3 – 11. 4. Кулакова С. Н., Байков В. Г., Бессонов В. В., Нечаев А. П., Тарасова В. В. Особенности растительных масел и их роль в питании / С. Н. Кулакова, В. Г. Байков, В. В. Бессонов, А. П. Нечаев, В. В. Тарасова // Масложировая промышленность. – 2009. – №3. – С. 16 – 20. 5. Нечаев А. П., Кочеткова А. А. Растительные масла функционального назначения / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова // Масложировая промышленность. – 2005. – №3. – С. 20 – 21. 6. Нечаев А. П. Научные основы технологий получения функциональных жировых продуктов нового поколения / А. П. Нечаев // Масла и жиры. – 2007. – №8. – С. 26 – 27. 7. Скорюкин А. Н., Нечаев А. П., Кочеткова А. А., Барышев А. Г. Купажированные растительные масла со сбалансированным жирнокислотным составом для здорового питания / А. Н. Скорюкин, А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. Г. Барышев // Масложировая промышленность. – 2002. – №2. – С. 26 – 27. 8. Прокопенко Л. Г., Бойняжева Л. И., Павлова Е. В. Полиненасыщенные жирные кислоты в растительных маслах / Л. Г. Прокопенко, Л. И. Бойняжева, Е. В. Павлова // Масложировая промышленность. – 2009. – №2. – С. 11 – 12. 9. Табакаева О. В., Каленик Т. К. Растительные масла с оптимизированным жирнокислотным составом / О. В. Табакаева, Т. К. Каленик // Масложировая промышленность. – 2007. – №1. – С. 21 – 22. 10. Табакаева О. В., Каленик Т. К. Обогащенные растительные масла с оптимизированным жирнокислотным составом / О. В. Табакаева, Т. К. Каленик // Масложировая промышленность. – 2007. – №2. – С. 34 – 35. 11. Табакаева О. В. Новые виды растительных масел как источники полиненасыщенных жирных кислот и селена / О. В. Табакаева // Масложировая промышленность. – 2007. – №6. – С. 26 – 27. 12. Табакаева О. В. Функциональные эмульсионные продукты нового поколения / О. В. Табакаева // Масложировая промышленность. – 2007. – №3. – С. 17 – 18. 13. Никонович С. Н., Тимофеенко Т. И., Спильник И. В., Скакалин Е. В. Новые типы растительных масел «идеального состава» / С. Н. Никонович, Т. И. Тимофеенко, И. В. Спильник, Е. В. Скакалин // Известия вузов. Пищевая технология. – 2005. – №2 – 3. – С. 108 – 109. 14. Никонович С. Н., Тимофеенко Т. И., Гринь Н. Ф. Функциональные свойства жировых продуктов нового поколения / С. Н. Никонович, Т. И. Тимофеенко, Н. Ф. Гринь // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – №1. – С. 18 – 20. 15. Никонович С. Н. Разработка новых типов растительных масел и биологически активных добавок для функционального питания: автореф. дис... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.10; спец. 05.18.06 / Никонович Сергей Николаевич – Краснодар, 2003. – 24 с. 16. Паронян В. Х., Восканян К. Г. Пути обогащения жирно кислотного состава эмульсионного жирового продукта / В. Х. Паронян, К. Г. Восканян // Хранение и переработка сельхозсырья / – 2005. – №6. – С. 54. 17. Пат. № 2242136 Россия, МПК А 23 D 7 / 00 Пищевой эмульсионный жировой продукт / Козьрина Г. И., Круглов С. Г., Комаров А. В., Восканян К. Г., Паронян В. Х., Восканян О. С., Скрябина Н. М. – № 2003118039 / 13; заявл. 19.06.2003; опубл. 20.12.2004. 18. Кулакова С. Н., Гаппаров М. М., Викторова Е. В. О растительных маслах нового поколения в нашем питании / С. Н. Кулакова, М. М. Гаппаров, Е. В. Викторова // Масложировая промышленность. – 2005. – №1. – С. 4 – 7. 19. Кулакова С. Н., Викторова Е. В. Растительные масла нового поколения и их роль в питании / С. Н. Кулакова, Е. В. Викторова // Масла и жиры. – 2006. – №9. – С. 1 – 5. 20. Скорюкин А. Н., Нечаев А. П., Кочеткова А. А., Барышев А. Г. Купажированные растительные масла со сбалансированным жирнокислотным составом для здорового питания / А. Н. Скорюкин, А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. Г. Барышев // Масложировая промышленность. – 2002. – №2. – С. 26 – 27. 21. Обухова Л. А., Вязовая Е. А. Масла фирмы «Дельфа»: кедровые, капсулированные и растительные / Л. А. Обухова, Е.

А. Вязовая // Библиотека компании «Арго». – Новосибирск. – 2008. **22.** Григорьева В. Н., Лисицын А. Н. Смеси растительных масел – биологически полноценные продукты / В. Н. Григорьева, А. Н. Лисицын // Масложировая промышленность. – 2005. – №1. – С. 9 – 10. **23.** Голубева В. С., Бабодей В. Н., Воронцов О. С., Тимофеева О. Н. Опыт разработки масложировых продуктов для функционального питания / В. С. Голубева, В. Н. Бабодей, О. С. Воронцов, О. Н. Тимофеева // Пищевая промышленность: наука и технология. – 2009. – №2. – С. 37 – 41. **24.** Скорюкин А. Н. Технология получения и применения купажированных жировых продуктов с оптимальным составом ПНЖК: автореф. дис... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук.: спец. 05.18.06 / Скорюкин А. Н. – М., 2005. – 20 с. **25.** Рудаков О. Б. Алгоритм оптимизации состава жировой фазы спредов / О. Б. Рудаков // Масложировая промышленность. – 2006. – №3. – С. 42 – 44. **26.** Рудаков О. Б. Применение номограмм в оптимизации состава жировой фазы спредов / О. Б. Рудаков, А. Н. Пономарев, Д. Б. Паринов, К. К. Полянский // Масложировая промышленность. – 2006. – №4. – С. 24 – 26. **27.** Самойлов А. В., Кочетков А. В. Оптимизация расчета смесей растительных жиров и масел с использованием критериев их физиологической функциональности / А. В. Самойлов, А. В. Кочетков // Пищевая промышленность. – №9, С. 68 – 70.

Надійшла до редколегії 15.02.2013

УДК 664.34 063.8

**Купажування олій з оптимізованим жирнокислотним складом/ З. П. Федякіна, Т. В. Матвєєва, І. Є. Шаповалова, І. П. Петік // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 116-120. – Бібліогр.: 27 назв.**

Путем купажирования масел можно получать продукты со сбалансированным жирнокислотным составом полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК)  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3. Проведен литературный поиск касательно разработок купажей масел с повышенной биологической ценностью. Выбраны и рассмотрены органолептические, физико-химические показатели и жирнокислотный состав растительных масел на основе которых в дальнейшем будут разработаны купажи масел функционального предназначения.

**Ключевые слова:** растительные масла, купажирование, полиненасыщенные жирные кислоты  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3.

Products with balanced fatty acid composition of  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 polyunsaturated FA caught be obtained by blending of vegetable oils. Bibliography research regarded to development of oil blends with increased biological value have been done. Organoleptic, physical, chemical characteristics and fatty acid composition of vegetable oil have been chosen and investigated on base of which blends of oils with functional purpose will be developed.

**Key words:** vegetable oil, blending,  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids

УДК 665.3

**Л. Н. КУЗНЕЦОВА**, м.н.с., УкрНИИМЖ НААН, Харьков

**В. Ю. ПАПЧЕНКО**, канд. техн. наук, зам. дир. УкрНИИМЖ НААН, Харьков

**И. Н. ДЕМИДОВ**, д-р. техн. наук, проф., НТУ “ХПИ”, Харьков

### **ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОПЛАВКОЙ ФРАКЦИИ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА**

В работе рассмотрено фракционирование пальмового масла кристаллизацией из раствора в этиловом спирте. Получена низкоплавкая фракция пальмового масла. Проведены экспериментальные исследования по определению её основных физико-химических характеристик. Приведено сравнение полученной низкоплавкой фракции пальмового масла с требованиями на олеин и суперолеин пальмовый.

**Ключевые слова:** фракционирование, пальмовое масло, низкоплавкая фракция, олеин.

**Введение.** За последние годы пальмовое масло и его фракции уверенно овладели рынком масложировой продукции Украины. Приемлемые физико-химические

© Л. Н. КУЗНЕЦОВА, В. Ю. ПАПЧЕНКО, И. Н. ДЕМИДОВ, 2013



характеристики, жирнокислотный состав, а также более низкая стоимость обусловили целесообразность частичной замены традиционного сырья (подсолнечного, рапсового масел и саломаса из них) на пальмовое масло и его фракции [1].

**Анализ последних исследований и литературы.** Пищевые жиры и масла являются сложными многокомпонентными смесями различных триацилглицеринов, имеющих различные температуры плавления. В различных пищевых продуктах свойство плавления и температура помутнения жиров являются важными показателями их функциональности.

Для получения из жиров продуктов с заданными физическими свойствами осуществляют модификацию жиров. Модифицированные жиры получают путем гидрогенизации, переэтерификации и фракционирования. При фракционировании триацилглицерины с различными температурами плавления разделяются на фракции с различной кристаллической структурой. Более насыщенные триацилглицерины с высокими температурами плавления отделяются от менее насыщенных с помощью фильтрования, которое осуществляется при определенных температурах [2].

Разделение жиров или масел на фракции также позволяет получить два и больше продуктов с различной функциональностью, с одного начального жирового продукта. Наиболее известное применение этого типа фракционирования для получения эквивалентов какао-масла или его заменителей [2, 3, 4].

Пальмовое масло непосредственно применяют, как жировой компонент в различной пищевой продукции либо его предварительно модифицируют методами фракционирования, гидрирования, переэтерификации. Вследствие чего существует широкая гамма переработанных и полностью очищенных продуктов пальмового масла, а также специальных жиров. Среди них следует отметить пальмовый олеин (стандартный сорт), олеин двойного фракционирования (суперолеин) и пальмовый стеарин с различными точками плавления и йодными числами (мягкие, средние и твердые сорта стеарина) [5]. Контроль показателей фракций пальмового масла на территории Украины осуществляется по ДСТУ 4439:2005 [6] и ДСТУ 4438:2005 [7].

Основные направления использования пальмового масла и его фракций: маргарины, шортенинги, фритюрные жиры, мороженое, наполнители и глазурь, шоколад, мыло, олеохимикаты, корма для животных [8, 9] и пр.

Пальмовое масло и его фракции используются для приготовления дрожжевого, песочного теста, сахарного, затяжного и сдобного печенья, пряников, бисквитов. Пальмовое масло обладает хорошей аэрирующей способностью, хорошо взбивается, поэтому его используют в производстве кремовых прослоек для кондитерских изделий. [10]

Физические свойства олеина значительно отличаются от физических свойств пальмового масла. Он полностью жидкий в теплом климате, имеет узкий состав ацилглицеролов и легко смешивается с любым растительным маслом. Суперолеин – это относительно новый продукт, который пользуется большим спросом. Но основной объем производства приходится на стандартный олеин [11].

Пальмовый олеин является устойчивым к окислению и термическому воздействию, поэтому его применяют как салатное масло и фритюрный жир. Гидрированный олеин в зависимости от содержания трансизомеров используют в жировых основах маргарина или как высококачественный нелауриновый заменитель какао-масла [1].

**Цель исследования, постановка проблемы.** Цель данной работы состоит в исследовании условий получения низкоплавкой фракции пальмового масла кристаллизацией из раствора в органическом растворителе (этанол).

**Материалы исследований.** Фракционирование в растворителе обеспечивает наибольшую селективность процесса и используется в производстве жиров, предназначенных для пищевых, химических и фармацевтических нужд.

В нашем исследовании проведено двухстадийное фракционирование пальмового масла кристаллизацией из раствора в этиловом спирте, как это описано в [12] при различных соотношениях пальмовое масло:этанол и без растворителя при сохранении всех прочих равных условиях выбранных на основании исследований [12, 13]. В результате получена низкоплавкая фракция пальмового масла. После отгонки растворителя дистилляцией в вакууме определялись температура плавления, выход и состав фракции, йодное число.

**Результаты исследования.** Основные физико-химические характеристики некоторых из полученных образцов низкоплавкой фракции пальмового масла приведены в таблице.

Таблица – Физико-химические характеристики исходного пальмового масла и полученной низкоплавкой фракции

Наименование показателей	Пальмовое масло	Низкоплавкая фракция при соотношении масло:этанол:				
		1:0 <sup>1)</sup>	1:0,5	1:1	1:2	1:3
Температура плавления, °С	+35,3	+18,7	+10,3	+10,8	+9,5	+17,0
Выход фракции, %	-	52,78	37,0	41,1	34,0	37,7
Йодное число, мг I <sub>2</sub> /100 г	51,9	56,4	52,4	58,6	55,0	53,0
Основной кислотный состав, %:						
пальмитиновая C <sub>16:0</sub>	45,6	38,7	39,2	37,3	39,3	42,5
стеариновая C <sub>18:0</sub>	4,7	4,0	3,8	3,5	3,4	4,5
олеиновая C <sub>18:1</sub>	38,4	44,4	45,4	46,3	42,2	42,6
линолевая C <sub>18:2</sub>	8,2	10,5	7,7	10,9	11,0	9,5

*Примечание: 1) отличие в температуре и продолжительности кристаллизации на первой стадии фракционирования*

Из таблицы видно, что в эксперименте, проведенном без использования растворителя, наблюдается максимальный выход низкоплавкой фракции пальмового масла 52,78 % с температурой плавления +18,7 °С. Однако продолжительность кристаллизации в этом эксперименте составляет 18 часов в отличие от экспериментов с растворителем, где продолжительность кристаллизации составляет лишь 60 – 90 мин, а полученная низкоплавкая фракция пальмового масла имеет более низкую температуру плавления. Так при соотношении масло:спирт 1:3 температура плавления фракции +17 °С с выходом 37,7 %, при соотношении масло:спирт от 1:0,5 до 1:2 температура плавления низкоплавкой фракции находится в пределах +9,5...+10,8 °С с выходом фракции 34 – 41 %. Кроме того, в экспериментах, проведенных с растворителем значительно лучше физико-химические характеристики одновременно полученных средней и высокоплавкой фракций пальмового масла [12, 13].

Обращает на себя внимание зависимость выхода низкоплавкой фракции и её температуры плавления от отношения пальмовое масло:спирт. Эта зависимость не описывается гладкой кривой и при увеличении количества спирта в системе доля низкоплавкой фракции и температура её плавления меняется скачкообразно то,

снижаясь, то возрастая. Такой характер зависимости может объясняться как действием достаточно существенного, но не учитываемого нами фактора, так и явлением полиморфизма, характерного для смесей ацилглицеролов.

**Выводы.** Полученные низкоплавкие фракции пальмового масла по своим физико-химическим характеристикам соответствуют пальмовому олеину и суперолеину по действующим нормативным документам. Кроме того, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что выход и состав фракций масел полностью зависит от режимов кристаллизации.

**Список литературы:** 1. Гладкий Ф. Ф. Технологія модифікованих жирів / Ф. Ф. Гладкий, В. К. Тимченко, І. М. Демидов та ін. – Харків: Підручник НТУ «ХПІ», 2012. – 210 с. 2. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / О'Брайен Р. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с. 3. Николаева Е. Масло какао и его дублеры / Е Николаева // Продукт и прибыль. – ООО «Издательский Дом Бизнес пресса», 2008. – №8. 4. Предыбайло А. В. Фракционирование – основной метод получения заменителей масла какао / А. В. Предыбайло // Кондитерская сфера. – 2008. – № 5. 5. Тимченко В. К. Фракціонування пальмової олії з використанням поверхнево-активної речовини / В. К. Тимченко, А. П. Мельник, О. А. Лукіна // Олійно-жировий комплекс. – 2005. – № 1. – С. 21 – 23. 6. ДСТУ 4439:2005. Стеарин пальмовий. Загальні технічні умови. – Введ. 2006-07-01. – К.: Держпотребстандарт, 2006. – 20 с. 7. ДСТУ 4438:2005 Олейн пальмовий. Загальні технічні умови. – Введ. 2006-07-01 – К.: Держспоживстандарт 2006. – 18 с. 8. Панзарис Ф. Свойства и возможности использования пальмового масла / Ф. Панзарис – Олійно-жировий комплекс. – 2004. – № 4. – С. 79 – 82. 9. Кузнецова Л. Н. Растительные жиры в кондитерской промышленности, как заменители какао-масла и молочного жира / Л. Н. Кузнецова, В. Ю. Папченко, И. Н. Демидов, П. Ф. Петик // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: ОНАХТ, 2012. – Вип. 42 – Том. 1 – С. 231–234. 10. [www.tehnopoliz.ru/masla\\_i\\_zhiry](http://www.tehnopoliz.ru/masla_i_zhiry). 11. Пантзарис Т. П. Карманный справочник по использованию пальмового масла / Т.П Пантзарис. – Министерство сырьевой промышленности, Малайзия, 2000. – 163 с. 12. Кузнецова Л. М. Дослідження фракціонування пальмової олії / Л. М. Кузнецова, І. М. Демидов, В. Ю. Папченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 1. – С. 100 – 104. 13. Кузнецова Л. М. Фракционирование пальмового масла / Л. Н. Кузнецова, В. Ю. Папченко, И. Н. Демидов, П. Ф. Петик // Тезисы докладов 5-й Международной научно-технической конференции [“Химия и технология жиров. Перспективы развития масло-жировой отрасли”], 23 – 24 мая 2012 г. Алушта. – Харьков: УкрНИИМЖ НААН, 2012. – С. 40.

Надійшла до редколегії 01.02.2013

УДК 665.3

**Получение низкоплавкой фракции пальмового масла/ Л. Н. Кузнецова, В. Ю. Папченко, И. Н. Демидов// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 120-123. – Бібліогр.: 13назв.**

У роботі розглянуто фракціонування пальмової олії кристалізацією з розчину в етиловому спирті. Отримані низкоплавкі фракції пальмової олії. Проведені експериментальні дослідження з визначення їх основних фізико-хімічних характеристик. Наведено порівняння отриманих низкоплавких фракцій пальмової олії з вимогами на олеїн і суперолеїн пальмовий. Бібліогр.: 13 назв.

**Ключові слова:** фракціонування, пальмова олія, низкоплавкі фракції, олеїн.

In the paper we examine the fractionation of palm oil crystallization from a solution in ethanol. Received a low melting fraction of palm oil. Experimental studies to determine its basic physical and chemical characteristics. The comparison of the resulting low-melting fraction of palm oil to the requirements for palm olein and superolein.

**Keywords:** fractionation, palm oil, low melting fraction, olein.

*К. В. СВИДЛО*, канд. техн. наук, доц. ХТЕІ КНТЕУ, Харків;

*Ю. Ю. ЛИПОВА*, зав. лабораторії, магістр ХТЕІ КНТЕУ, Харків

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ РИЗИКІВ ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБЦІВ «ТОМАТНИХ» ГЕРОДІЄТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

У статті розглянуто актуальність впровадження міжнародної системи забезпечення безпеки харчової продукції (НАССР) на прикладі визначення потенційних ризиків (критичних точок контролю) технології хлібобулочних виробів геродієтичного призначення.

**Ключові слова:** НАССР, хлібобулочні вироби, геродієтичне призначення.

**Вступ.** Показники смертності населення України перевищують показники народжуваності у півтора рази. Частка населення України після 60 років вже перевищила 20%, тобто складає п'яту частину всіх українців. Особливу роль у підтримуванні нормального функціонування організму людини похилого віку відіграє харчування, а хлібобулочні вироби є одним з основних продуктів харчування.

Таким чином наукове обґрунтування розроблення, впровадження і забезпечення безпечності хлібобулочних виробів геродієтичного призначення є сьогодні актуальним та вкрай необхідним.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Аналіз продовольчого ринку України показав, що виробництво, розширення асортименту й впровадження хлібобулочних виробів геродієтичного призначення на продовольчий ринок України стримується недостатнім рівнем досліджень, відсутністю індустріальної бази й організаційно-технологічних принципів її виробництва. Тому саме розробка й впровадження НАССР повинно стати головною складовою комплексного підходу до безпеки харчових продуктів, зокрема хлібобулочних виробів геродієтичного призначення.

Система НАССР є ефективним зряддям управління, яке використовується для захисту підприємства (торгівельної марки) при просуванні на ринку харчових продуктів і захисті виробничих процесів від біологічних (мікробіологічних), хімічних, фізичних і інших ризиків забруднення.

Розроблена і впроваджена система безпеки харчової продукції дає підприємству впевненість в тому, що безпека дотримується. Впровадивши і підтримуючи систему НАССР, підприємство має можливість уникнути:

- вживання великого спектру потенційно небезпечних матеріалів;
- трьох видів ризиків: біологічних, хімічних і фізичних;
- погроз для здоров'я людей;
- непродуктивних витрат фінансових коштів;
- витрат унаслідок псування, неправильного виробництва (саботажу) або неправильного вживання (зловживання) покупця [1].

На сьогодні в Україні процес впровадження НАССР регламентується на державному рівні (Закон України «Про безпечність та якість харчових продуктів», а саме: «Здійснювати заходи щодо поетапного впровадження по підприємствах харчової промисловості міжнародної системи забезпечення безпеки харчових продуктів НАССР у порядку та терміни, визначені законодавством України для окремих видів харчових продуктів...» [2] та Національний стандарт ДСТУ 4161:2003

«Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги», який набрав чинності від 01.07.2003 р.) [3].

Використання системи НАССР дозволяє перейти від випробувань кінцевого продукту до розробки застережливих методів забезпечення безпеки харчової, у тому числі хлібобулочної продукції.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою та задачею статті є ідентифікація потенційних небезпечних для споживачів ризиків технології хлібців «Томатних» геродієтичного призначення, які можуть виникнути протягом всього виробничого процесу, і встановлення контролю з метою гарантування безпечності продукту для споживачів.

**Методи та матеріали досліджень.** Для проектування технології хлібців «Томатних» геродієтичного призначення використано математичне моделювання з застосуванням прикладного пакету Excel, ідентифікація потенційних ризиків і встановлення критичних точок контролю проводилося відповідно до вимог ДСТУ 4161:2003.

**Результати досліджень.** Хлібобулочні вироби є основним харчовим продуктом в раціоні людини, мають багато переваг, а саме, високі органолептичні показники, структурно-механічні властивості, але на ряду з цим необхідно покращувати їх біологічну цінність. Для продукції геродієтичного харчування також необхідно дотримуватися формули геродієтичного харчування (рис. 1).

Недостатнє вживання найцінніших у біологічному відношенні харчових речовин негативно позначається на здоров'ї людини після 60 років: погіршується самопочуття, знижується фізична й розумова працездатність, підсилюється

негативний вплив на організм шкідливих умов праці (для працездатних пенсіонерів), збільшується тривалість та погіршується стан протікання будь-яких хвороб. За умови необхідності поповнення організму людини похилого і старечого віку біологічно-активними речовинами була розроблена нова технологія хлібців «Томатних» геродієтичного призначення. Серед продуктів геродієтичного харчування важливе місце займають продукти збагачені вітамінами, мікроелементами, харчовими волокнами та ін., продукти з яких видалені певні сполуки не рекомендовані за медичними показниками або замінені на інші компоненти. Основним принципом створення харчових продуктів геродієтичного призначення

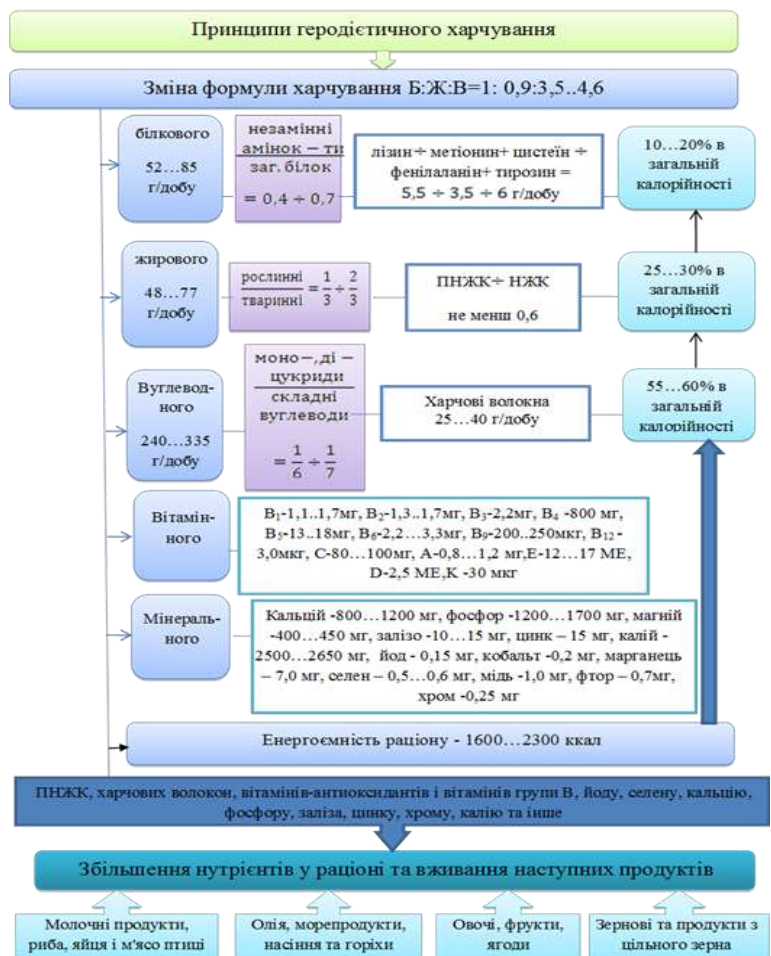


Рис. 1 - Формула геродієтичного харчування

можна вважати зміцнення здоров'я людини шляхом впливу на відповідні фізіологічні реакції організму.

Продукти функціонального спрямування повинні бути безпечними для споживачів і складові компоненти мають виключно небажану взаємодію між інгредієнтами. Аналіз хімічного складу та харчової цінності хлібобулочних виробів свідчить, що переважна більшість з них не відповідає вимогам геродієтичного харчування. Незбалансованість складу пов'язана з високим вмістом жирів, вуглеводів та відносно низьким – білків, харчових волокон, ненасичених жирних кислот, вітамінів [4].

Аналіз енергетичної цінності раціонів харчування середньоста-тистичного мешканця України після 60 років порівняно вимог ФАО/ВООЗ відповідно досліджень фахівців Інституту геронтології АМН України [5] занижений приблизно на 24-30%. Водночас спостерігається деформація раціонів харчування у вигляді підвищеного споживання тваринних жирів, цукру на фоні різкого зниження споживання вітамінів, мінеральних речовин, клітковини, пектинових речовин [6]. Технологічна схема виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення представлена на рис 2.

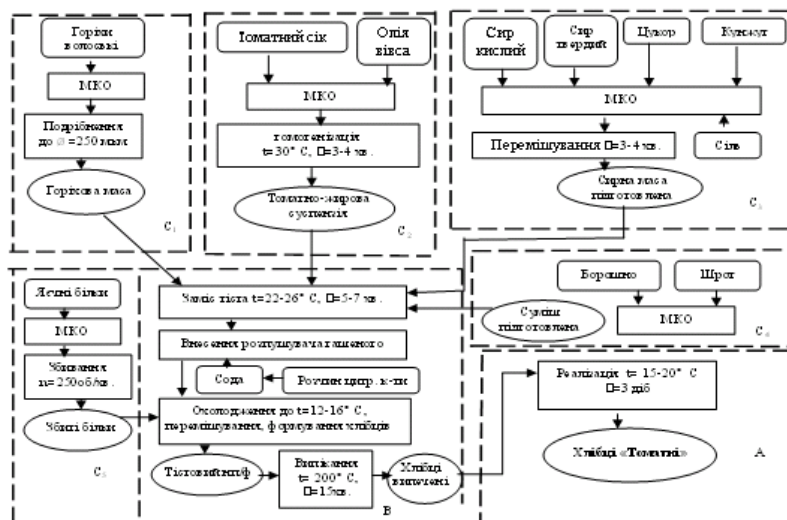


Рис. 2 - Принципова технологічна схема виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення

Важливим аспектом є підготовка повного опису кінцевого продукту. Опис хлібців «Томатних» геродієтичного призначення надано у вигляді встановленої уніфікованої форми, відповідно до табл.1.

Таблиця 1 - Характеристика та технологічне призначення хлібців «Томатних» геродієтичного призначення

Найменування показника	Характеристика
Назва продукту	Хлібці «Томатні» геродієтичного призначення
Нормативний документ	У проекті
Важливі характеристики	Вологість 49%, кислотність 3-4 °Н, пористість 56%
Призначення продукту	Напівфабрикат
Пакування	Герметично закрита полімерна тара, упакована в картонні коробки
Термін зберігання	Готовий продукт 72 години при температурі 18 – 22°С
Реалізація	Через мережу закладів ресторанного господарства; у роздрібній та оптовій торгівлі
Інструкція щодо етикетування	Спосіб застосування та гарантії безпеки

Наступним кроком складання опису хлібців «Томатних» геродієтичного призначення є оцінювання технологічних операцій стосовно небезпечних чинників.

Метою цього кроку є ідентифікація всіх потенційно небезпечних чинників, пов'язаних з кожною технологічною операцією, технологічним маршрутом продукту та схемою руху працівників. Для цього проаналізуємо блок - схему технологічного процесу виготовлення хлібців «Томатних» геродієтичного призначення, наведену на рис. 3, використовуючи «дерево прийняття рішень».

До біологічних ризиків (Б) належать забруднення мікроорганізмами від людей, тварин або обладнання, присутності спор бактерій та грибів. Хімічні ризики (Х) включають забруднення продуктів на виробництві мийними хімічними речовинами, мастильними матеріалами, солями важких металів, продуктами окислення ліпідів, токсичними продуктами життєдіяльності мікроорганізмів та ін. Основними фізичними ризиками (Ф) є шкідливі сторонні домішки.

КТК 1 Вихідний контроль якості сировини. Зазвичай якість сировини контролюється фірмою поставником і підтверджується сертифікатом відповідності, гігієнічними висновками або іншими нормативними документами (ДСТУ, ТУ). Підготовка сировини. Порухення технологічного процесу на цій стадії може викликати фізичні, хімічні та біологічні забруднення.

КТК 2 Поєднання та перемішування компонентів (яйця, цукор, борошно масло, томатний сік, сир твердий, сир кислий, олія, шрот, кунжут, горіх волоський, яєчний білок) до отримання однорідної маси.

Недотримання

КТК 3 Дозування. Забруднення біологічно та фізично небезпечними чинниками може мати місце за порушення санітарних правил та недбалого ведення технологічного процесу.

КТК 4 Утворення тіста, випікання, охолодження має вестися за визначених температурних і тривалих режимів з метою запобігання виникнення біологічних та фізичних ризиків.

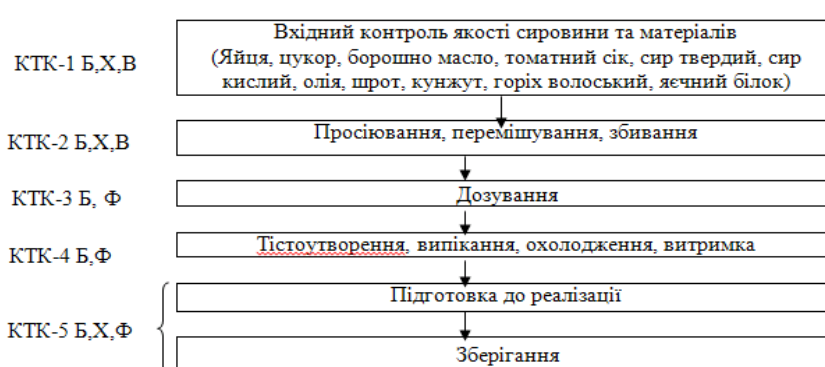


Рис. 3 - Принципова блок-схема виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення із визначенням критичних точок контролюсанітарних норм на цих стадіях сприяє забрудненню напівфабрикатів мікроорганізмами та сторонніми домішками

КТК 5 Підготовка до реалізації та зберігання. За відсутності порушень за попередніми КТК на стадії зберігання у разі недотримання режимів зберігання може відбуватись накопичення ознак псування продукту.

Ідентифікація потенційних ризиків та граничних значень критичних точок контролю під час виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення наведено в таблиці 2.

Моніторинг небезпечних чинників показує, що основні потенційні ризики, які з'являються в технології хлібців «Томатних» геродієтичного призначення, є біологічні та фізичні ризики, що можуть виникати за порушення санітарних правил та недбалого ведення технологічного процесу. Доцільним є розробка заходів, що дозволять уникнути виникнення цих ризиків у новій технології хлібців «Томатних» геродієтичного призначення.

**Висновки.** Визначення КТК процесу виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення спрямоване на вирішення проблем безпеки та надає

інформацію про те, як найкраще контролювати небезпечні чинники у технологічному процесі. Виявлення та моніторинг критичних точок контролю у процесі виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення дозволяє більш ефективним та економічним засобом досягти забезпечення якості та безпеки, ніж традиційні засоби інспекції та випробувань готової продукції.

Таблиця 2 - Ідентифікації ризиків і граничних значень критичних точок контролю під час виробництва хлібців «Томатних» геродієтичного призначення

КТК	Небезпечні чинники			Технологічні параметри	Граничне значення КТК
	Б	Х	Ф		
1	Згідно з НД			-	-
2	х	-	х	Дисперсність подрібнення, мкм Температура гомогенізації, °С Тривалість гомогенізації, с Швидкість збивання, об/с Тривалість збивання, с	Ø =250 мкм t=30° С T=(3-4)х60 с n=250х60 об/с τ=150-180 с
3	х	-	х	Маса виробу н/ф	
4	х	-	х	Температура, °С Тривалість, с Температура, °С Тривалість, с Температура, °С Тривалість, с Температура, °С Тривалість, с	Заміс: t = 22...26 °С τ = 180...420 с Охолодження: t = 12...16 °С τ = (60...90) · 60 с Випікання: t = 190...200 °С τ = (15...20) · 60 с Реалізація: t = 15...20 °С τ = 72 год.
5	х	х	х	Згідно з НД	-

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку є розробка плану НАССР як системи запобіжних заходів забезпечення безпеки хлібців «Томатних» геродієтичного призначення в напрямку аналізу ризиків з урахуванням можливості знешкодження хронічних небажаних наслідків. Та цілеспрямоване використання принципів НАССР, що є перспективним для упровадження заходів контролю з метою зниження можливості зараження кінцевих продуктів.

**Список літератури:** 1. Система НАССР: довідник / В. Н. Битков [та ін.]; відп. В. Н. Сухов. – Л.: НТЦ Леонорм – Стандарт, 2003. – 218с. 2. Про безпечність та якість харчових продуктів: закон України: [прийнятий Верховною радою 06 верес. 2005р. – № 2809 – 4]. 3. Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги ДСТУ 4161-2003: [від 01 лип. 2003р.]. 4. Швец О. В. Питание людей пожилого возраста с точки зрения доказательной медицины / Швец О.В., Сластин В. В., Мартыничук А. А.// Проблемы старения и долголетия, 2011.-Т.20, №2. –С.117-127. 5. Синеок Л. Л. Питание одиноких людей старших возрастов и проживающих в домах-интернатах/ Л. Л. Синеок, Ю. Г. Григоров, Т. М. Семесько// Проблемы харчування, 2005. - №1.- С.29-36. 6. Орлова Н. Я. Біохімія та фізіологія харчування. - К.:Київ. Нац.торг.-екон.ун-т, 2006.- с. 248.

Надійшла до редколегії 20.02.2013



**Визначення потенційних ризиків «томатних» геродієтичного призначення технології хлібців/ Свідло К.В., Липова Ю.Ю // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 124-129. – Бібліогр.: 6 назв.**

В статье рассмотрена актуальность внедрения международной системы обеспечения безопасности пищевой продукции (НАССР) на примере определения потенциальных рисков (критических точек контроля) технологии хлебобулочных изделий геродиетического назначения.

**Ключевые слова:** НАССР, хлебобулочные изделия, геродиетическое назначение.

The article considers the relevance of the implementation of the international system to ensure food safety (НАССР) for example identify potential risks (critical control points) technology of gero-dietetical bread products.

**Keywords:** НАССР, bread products, gero-dietetical appointment.

#### УДК 66.01/07 (075.8)

**В. В. БЕРЕЗУЦКИЙ**, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

**Н. Л. БЕРЕЗУЦКАЯ**, канд. техн. наук, доцент, ХНУРЭ, Харьков;

**В. В. ХАЛИЛЬ**, аспирант, НТУ «ХПИ»

#### РАЗРАБОТКА ПРОТОЧНОГО АКТИВАТОРА ВОДЫ

В статье рассмотрены перспективные исследования по разработке проточного активатора воды промышленного назначения, с эффективным разделением катионов и анионов, что позволит создать высокоэффективное устройство для обессоливания или концентрирования вод. Приведены исследования полупроницаемых перегородок из ткани и металлического биполярного электрода.

**Ключевые слова:** активатор воды, исследования, перегородка, ткань, биполярный электрод.

#### Введение

В настоящее время появляются новые задачи при водоподготовке, которые определяются необходимостью изменения концентраций катионов и анионов в воде, с целью ее очистки или придания ей определенных свойств [1-4]. Одной из таких технологий является разделение ионов воды с помощью пропускания ее через камеры, где установлены полупроницаемые перегородки, с помощью которых и происходит разделение нейтральной воды на катионо- и анионоактивную воду.

Известный способ включает предварительный нагрев активируемой жидкости и электрохимически активированной среды и помещение диэлектрической тонкостенной емкости с активируемой жидкостью в электрохимически активированную среду. Технический эффект - повышение производительности и эффективности электроактивации жидкости за счет ускорения энергообмена между слоями активируемой жидкости и ускорения активации всего объема активируемой жидкости при сохранении постоянства первоначального химического состава жидкости [5].

Бытовой активатор воды (электроактиватор) АП-1 - легкий, не сложный, компактный аппарат, позволяющий каждому в домашних условиях всего за 20 минут получить около 1,4 литра активированной ("живой" и "мертвой") воды. Для этого достаточно заполнить сосуд водой, включить вилку в розетку 220 В и через 20-30 мин. слить уже активированную воду в разные сосуды [6].

Очистка воды в водоочистителе-активаторе "Изумруд" основана на

использовании окислительно-восстановительных процессов, благодаря которым в природе разрушаются и нейтрализуются все вредные и токсичные вещества. В фильтре для очистки воды "Изумруд" используется технология, объединяющая методы очистки воды такие как: электрохимическое и электрокаталитическое анодное окисление (анод - положительно заряженный электрод реактора), окислительно-восстановительный катализ, электролитическое и электрокаталитическое катодное восстановление (катод - отрицательно заряженный электрод реактора), электромиграционный перенос, микроэлектрофлотация, микроэлектрофизическая обработка воды. В настоящее время выпускаются водоочистители-активаторы "Изумруд" бытового назначения производительностью 60л/час и промышленного назначения производительностью 250, 500 и 1000 л/час [7].

Сущность процесса заключается в получении в аппарате электрического поля, которое в дальнейшем определяет величину электрического тока проходящего через электролит. Полупроницаемая перегородка делит электролизную камеру на две части, а именно катодную и анодную. В этой технологии очень много зависит от правильного выбора материала для перегородки. Существующие перегородки выполняются из пористых природных или искусственных материалов, в том числе из брезентовой ткани и т.п. Процесс эффективного разделения ионов (активирования) воды зависит от времени, приложенного электрического напряжения, материала перегородки и состава электролита.

**Актуальность.** Одним из основных недостатков существующих конструкций является низкая производительность и ограничение области применения (бытовое).

**Постановка задачи** - разработать активатор промышленного образца для процессов обессоливания и концентрирования вод.

**Цель исследований.** - выбор тканевых или других полупроницаемых перегородок для активатора воды непрерывного действия.

**Оборудование.** Для выполнения поставленной цели, была собрана экспериментальная установка, которая представлена на рис. 1.

Корпус экспериментальной установки выполнен из прозрачного органического стекла (4), в котором установлена съемная перегородка (1), выполненная из брезентовой ткани, и электроды – катод (3) и анод (4), к которым подводится электрическое напряжение от выпрямителя электрического тока (5). В первом

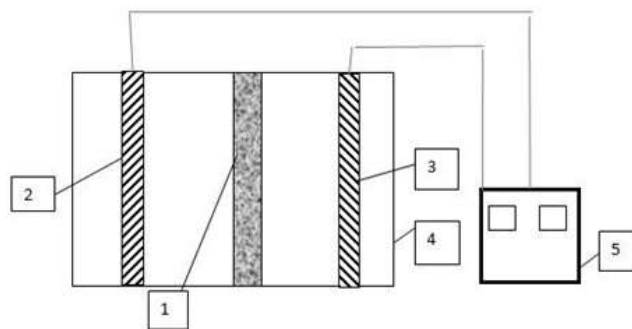


Рис. 1 - Схема экспериментальной установки активатора воды

эксперименте расстояние от электродов до перегородки не менялось в процессе исследований, и было равно 0,05 м. Электроды выполнены из нержавеющей стали, толщина – 0,002 м. Исследования проводились при различных величинах электрического тока. Электролит – питьевая водопроводная вода. Скорость потока электролита – вода неподвижна (0 м/с). К недостаткам технологического процесса необходимо отнести быстрое забивание пор материала перегородки продуктами процесса активации и значительное увеличение температуры при увеличении напряжения электрического тока (до 60<sup>0</sup>С и более).

**Результаты эксперимента.** На рис. 2 и рис.3 приведены результаты эксперимента.

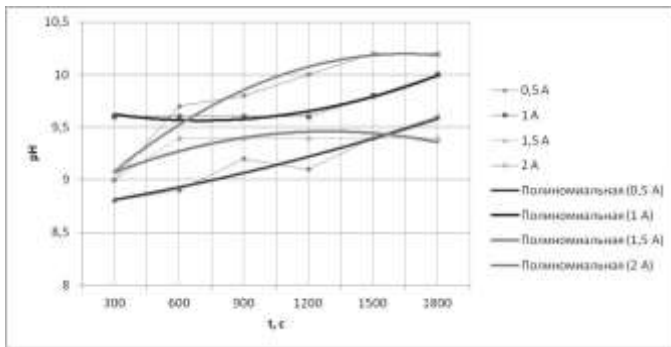


Рис. 2 - Результаты эксперимента для катодной области активатора

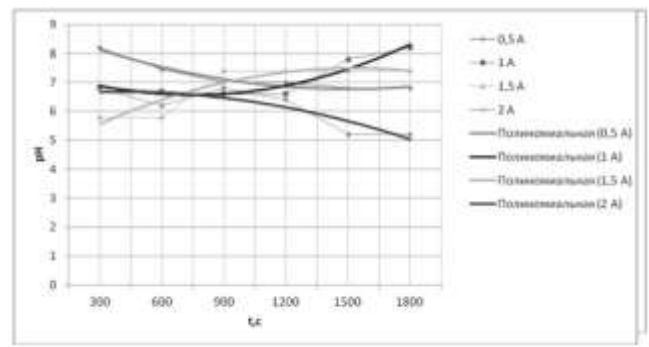


Рис. 3 - Результаты эксперимента для анодной области активатора

В следующем эксперименте в качестве перегородки использовался биполярный электрод, выполненный из металла со специальной перфорацией. Результаты эксперимента приведены для сравнения с результатами брезентовой перегородки при токе 0,3 А на рис.4.

Температура при этих условиях повышается не более чем на 10-20 °С. Процесс разделения ионов в катодной и анодной областях происходит практически за несколько секунд. Недостаток – при снятии напряжения происходит нейтрализация. Поэтому для сохранения эффекта разделения необходимо постоянно отводить электролит из катодной и анодной областей.

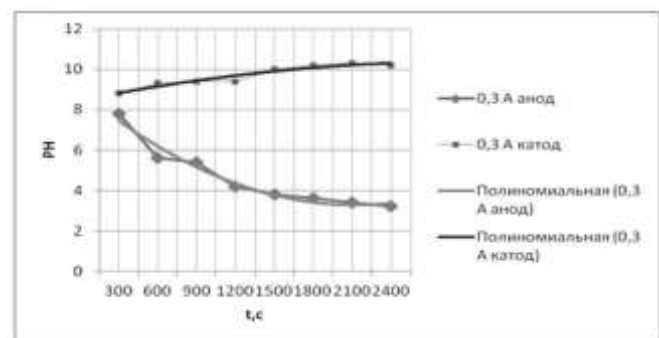


Рис. 4 - Результаты эксперимента для катодной и анодной области активатора с биполярными перфорированными электродами

В качестве сравнения, было выполнено разбавление активированной воды с рН=9. Снижение рН на 0,7 было получено при 18 кратном разбавлении водой с рН=7,5.

В следующем эксперименте были исследованы различные металлические биполярные электроды, для применения в качестве полупроницаемой перегородки, размеры перфораций, влияние площади перфорации на процесс активации, толщины пластин перегородок, размещение перфораций на поверхности перегородок и другое. Проточный активатор состоит из проточной емкости, в которой размещены электродные камеры с установленными в них анодами и катодами, разделенными биполярными электродами выполненными из металла, имеющие специальную перфорацию. Вид активатора показан на рис.5.

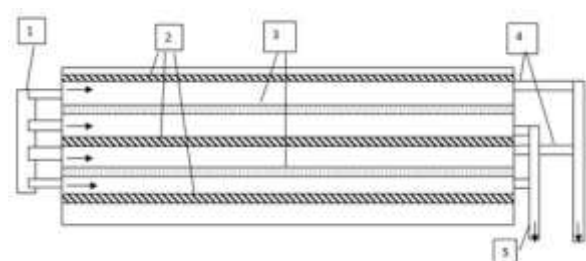


Рис. 5 - Схема проточного активатора воды

Проточный активатор воды состоит из следующих частей: системы подвода воды на активацию (1), камер с размещенными в них электродами (2), биполярных металлических перегородок с перфорацией (3), систем отвода активированной катионитной (4) и (или) анионитной (5) воды.

**Выводы:** поставленная задача выполнена, эксперименты показали перспективность рассматриваемой технологии для процессов разделения ионов электролитов на катионы и анионы с последующим перемещением их в разные камеры с помощью проточного активатора промышленного типа. Особенно это может быть перспективно для систем обессоливания морских вод.

**Список литературы:** 1. Березуцкий В. В. Техногенна безпека маслемульсійних вод: Монографія – Харків: ХДПУ. – 1998. – 279 с.; 2. Березуцкий В. В. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности. Монография – Харьков: ХГПУ. - 1999.- 170 с. 3. Березуцкий В. В. Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях. - Монография. - Харьков: Факт, 2009.- 400с. 4. Березуцкий В. В. Локальные установки для очистки промышленных стоков // Машиностроитель. - 1989. - №1.- С.30-31.; 5. Интернет ресурс / Способ бесконтактной электроактивации жидкости и устройство для его реализации [http://ntpo.com/patents/water/water\\_1\\_/water\\_2104.shtml](http://ntpo.com/patents/water/water_1_/water_2104.shtml). 6. Интернет ресурс / Бренд: АП-1 [http://www.eco-shop.com.ua/category\\_48.html](http://www.eco-shop.com.ua/category_48.html); 7. Интернет ресурс/ Водоочистители-активаторы "Изумруд" - Техническое Описание <http://www.izumrud.com.ru/emerald/description.php>

*Надійшла до редколегії 20.02.2013*

УДК 66.01/07 (075.8)

**Разработка проточного активатора воды/ В. В. Березуцкий, Н. Л. Березуцкая, В. В. Халиль // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 129-132. – Бібліогр.: 7 назв.**

У статті розглянуті перспективні дослідження з розробки проточного активатора води промислового призначення, з ефективним розподілом катіонів та аніонів, що дозволить створити високоефективний пристрій для знесолення або концентрування вод. Наведено дослідження напівпроникних перегородок з тканини і металевого біполярного електроду.

**Ключові слова:** активатор води, дослідження, перегородка, тканина, біполярний електрод.

The article describes the development of prospective studies on flow activator of water for industrial use, with an effective separation of cations and anions, which will create a high-performance device for concentrating and desalting water. Studies are semipermeable walls of fabric and metal bipolar electrode.

**Keywords:** water activator, research, partition, fabric, bipolar electrode.

УДК 547.497.6:547.584

**В.В. ШТАМБУРГ**, канд. хим. наук, старш. преп., НТУ «ХПІ»

## **ГЕТЕРОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ ТРИАЛКИЛОРТОФОРМИАТОВ В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ-9**

Хлороформ реагирует с первичными спиртами и NaOH в присутствии полиэтиленгликоля-9 в качестве КФП с образованием триалкилортоформиатов. Экспериментальные данные показывают, что данным способом с удовлетворительными выходами получают триметилортоформиат, триэтилортоформиат, три-*n*-бутилортоформиат и три-*n*-пентилортоформиат.

**Ключевые слова:** триалкилортоформиаты, межфазный катализ, катализаторы фазового переноса, полиэтиленгликоль-9.

**Введение.** Данная статья является продолжением исследований, посвященных синтезу триалкилортоформиатов в условиях межфазного катализа.

**Анализ последних исследований и литературы:** Взаимодействие хлороформа

© В.В. ШТАМБУРГ, 2013

с первичным спиртом и NaOH на сегодняшний день является наиболее экономичным и удобным способом получения триалкилортоформиатов [1-3]. Для проведения реакции необходимо использование высокоэффективного катализатора фазового переноса (КФП), т.к. данные реагенты находятся в разных фазах, в воде и CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. В качестве КФП могут применяться как четвертичные аммониевые соли и дорогостоящие краун-эфиры [2,3], так и новые типы КФП подандной природы, α,ω-бис-(диалкиламино)олигооксаалканы [1], а так же бромиды α,ω-бис-(N,N,N-триалкиламмоний)олигооксаалканов [2,3].

Недавно нами был описан синтез нового поданда данного типа, дибромида 1,8-бис(N-амино-N,N-диметиламмоний)-3,6-диоксаоктана [4], оказавшегося эффективным КФП в синтезе триалкилортоформиатов [5].

**Цель исследования, постановка проблемы:** Несмотря на высокую эффективность в качестве КФП, краун-эфиры, четвертичные аммониевые соли, КФП подандной природы: α,ω-бис-(диалкиламино)олигооксаалканы и бромиды α,ω-бис-(N,N,N-триалкиламмоний)олигооксаалканов являются либо весьма дорогими (краун-эфиры), либо труднодоступными для широкого применения в промышленности.

**Материалы исследований:** Данная статья посвящена исследованию возможности реализации гетерофазного синтеза триалкилортоформиатов в присутствии более экономически выгодного и доступного КФП – коммерческого полиэтиленгликоля-9 (ПЭГ-9), являющегося смесью олигомеров со средней молекулярной массой 400 – 414 у.е.

**Результаты исследований:** Нами найдено, что полиэтиленгликоль-9 (ПЭГ-9) катализирует образование триметилортоформиата, триэтилортоформиата, три(*n*-бутил)ортоформиата и три(*n*-пентил)ортоформиата из хлороформа, соответствующего спирта и NaOH в среде дихлорметана. Применение дихлорметана позволяет избежать губительного перегрева реакционной среды выше 40 °С.

Применение в качестве катализатора фазового переноса ПЭГ-9 в количестве 0,1 мольн.% / на 1 моль спирта приводит к получению триметилортоформиата с низкими выходами (21,8 %). Поэтому в проведененной серии экспериментов ПЭГ-9 использовался в количестве 0,3 мольн.% / на 1 моль спирта. Это позволило получить целевые эфиры ортомуравьиной кислоты с приемлемыми выходами. Из метанола и хлороформа и NaOH образуется

триметилортоформиат с выходами 38,4 – 41,5% (рис. 1). Данный синтез усложняется

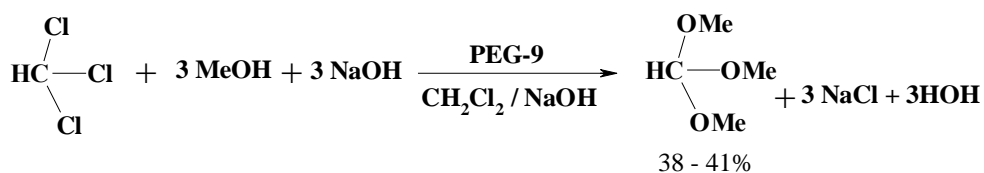


Рис. 1 - Схема синтеза триметилортоформиата в гетерофазной системе при катализе ПЭГ-9

трудностью разделения в лабораторных условиях небольших количеств смеси CH(OMe)<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> в связи с недостаточно большой разностью температур кипения. В промышленности этот недостаток может быть легко устранен высокоэффективной ректификацией. Из

этанол и хлороформа и NaOH образуется триэтилортоформиат с выходом 38,6 % (рис. 2).

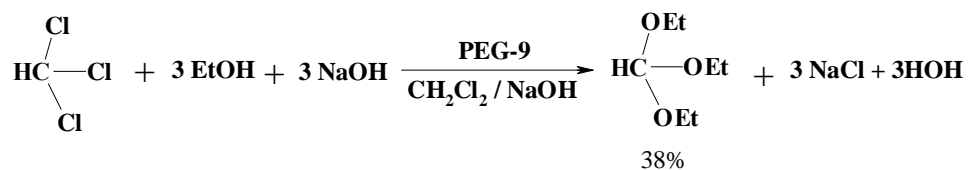
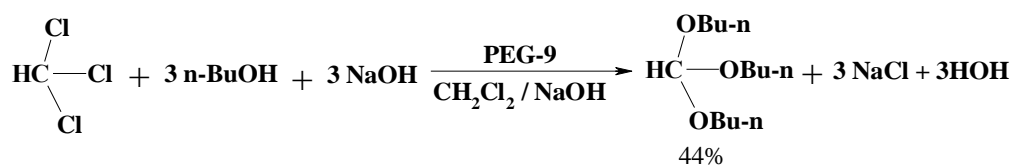


Рис. 2 - Схема синтеза триэтилортоформиата в гетерофазной системе при катализе ПЭГ-9

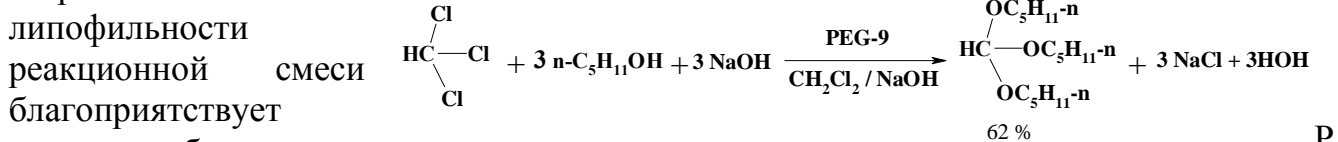
В данном случае триэтилортоформиат легко отделяется от растворителя и избыточного хлороформа фракционной перегонкой в слабом вакууме. Однако сам процесс синтеза весьма чувствителен к перегреву и должен проводиться при температуре реакционной среды не выше 30°C. Из *n*-бутанола, хлороформа и NaOH образуется три-*n*-бутилортоформиат с более высоким выходом – 43,7 % (рис. 3).



В данном случае вакуумная ректификация позволяет получить чистый продукт даже в лабораторных условиях. При ректификации также регенерируется 6,5 % непрореагировавшего *n*-бутанола. Возможность его повторного использования в условиях производства повышает общий выход три-*n*-бутилортоформиата, который составляет по проконвертированному *n*-бутанолу 46,7 %.

Рис. 3 - Схема синтеза три-*n*-бутилортоформиата в гетерофазной системе при катализе ПЭГ-9

При взаимодействии *n*-пентанола с хлороформом и NaOH три-*n*-пентилортоформиат образуется с еще большим выходом, 62,1 % (рис. 4). Вероятно, возрастание



ис. 4 - Схема синтеза три-*n*-пентилортоформиата в гетерофазной системе при катализе ПЭГ-9

В данном случае вакуумная ректификация так же приводит к получению в лабораторных условиях достаточно чистого три-*n*-пентилортоформиата. При ректификации также регенерируется 20,3 % непрореагировавшего *n*-пентанола. Возможность его повторного использования в условиях производства существенно повышает общий выход три-*n*-пентилортоформиата, который составляет по проконвертированному *n*-пентанолу 77,9 %.

**Экспериментальная часть.** Спектры ЯМР <sup>1</sup>H регистрировали на спектрометре VARIAN VXR-300 (300 МГц, Me<sub>4</sub>Si в качестве внутреннего стандарта; приведены значения δ, м.д., КССВ (*J*), Гц). CHCl<sub>3</sub> и CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> абсолютировали кипячением и перегонкой над P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Этанол и метанол абсолютировали кипячением и перегонкой над Са.

**Триметилортоформиат.** К 40 г (1000 ммоль) NaOH добавили при охлаждении 16,02 г (500 ммоль) абс. MeOH, затем через 10 мин при перемешивании добавили 20 мл CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 0,62 г (1,5 ммоль) ПЭГ-9, 50 мл CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, затем при капали 29,84 г (250 ммоль, 29 мл) CHCl<sub>3</sub> и 20 мл CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Перемешивали реакционную смесь в теч. 5 ч. Первоначально наблюдался разогрев реакционной смеси до 40°C, затем ее температура падала до 20-25°C. Выдерживали при этой температуре реакционную смесь 35 – 40 ч. Затем неорганический осадок отфильтровывали и промывали его 25 мл CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Из фильтрата отгоняли CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> и дополнительно экстрагировали им неорганический осадок NaCl - NaOH, из экстракта отгоняли CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Остатки после отгонки CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> объединяли и подвергали фракционной перегонке, отбирая фракции:

I фракция  $t_{\text{кип}} = 84 - 96^\circ\text{C}$ , 3,00 – 4,26 г, содержание  $\text{HC}(\text{OMe})_3$  71%, выход 12,0 – 17,1 % (по  $\text{MeOH}$ );

II фракция (основная)  $t_{\text{кип}} = 96 - 102,5^\circ\text{C}$ , 4,32 – 4,86 г, содержание  $\text{HC}(\text{OMe})_3$  96%, выход 24,4 – 26,4% (по  $\text{MeOH}$ ),  $n_D^{20}$  1,3790, лит.  $n_D^{20}$  1,3793 [6]. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (300 МГц,  $\text{CDCl}_3$ ,  $\sigma$ , м.д.): 3,315 с (9H, OMe), 4,957 с (1H, CH).

Общий выход  $\text{HC}(\text{OMe})_3$  составит 38,4 – 41,5% (по  $\text{MeOH}$ ).

А. Проведение реакции в тех же условиях при использовании в качестве КФП 0,1% мольн. % ПЭГ-9 позволило получить триметилортоформиат с выходом 21,8%.

**Триэтилортоформиат.** К 40 г (1000 ммоль)  $\text{NaOH}$  добавили при охлаждении 23,04 г (500 ммоль) абс.  $\text{EtOH}$ . Выдержали 1 ч при  $10^\circ\text{C}$ , затем при перемешивании прибавили 50 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , затем 0,62 г (1,5 ммоль) ПЭГ-9, затем 10 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , затем при охлаждении водой прикапали 29,84 г (250 ммоль, 29 мл)  $\text{CHCl}_3$  и 20 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Перемешивали реакционную смесь в теч. 5 ч, охлаждая водой и поддерживая температуру реакционной смеси в пределах  $21 - 27^\circ\text{C}$ . Выдерживали реакционную смесь при  $15 - 20^\circ\text{C}$  в течении 70 ч, затем неорганический осадок отфильтровывали и промывали его 55 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Из фильтрата отгоняли  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  и дополнительно экстрагировали им неорганический осадок  $\text{NaCl} - \text{NaOH}$ , из экстракта отгоняли  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Кубовые остатки после отгонки  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  объединяли и перегоняли в вакууме, отбирая фракцию  $65-67^\circ\text{C}$  (40 мм рт. ст.). Получено 9,53 г (38,6 %) тиметилортоформиата, бесцветная жидкость,  $n_D^{15}$  1,3948, лит.  $n_D^{20}$  1,3922 [6]. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (300 МГц,  $\text{CDCl}_3$ ,  $\sigma$ , м.д.): 1,242 т, (9H,  $\text{NOCH}_2\text{Me}$ ,  $^3J = 7,2$  Гц), 3,621 к (6H,  $\text{NOCH}_2\text{Me}$ ,  $^3J = 7,2$  Гц), 5,181 с (1H, CH).

**Три-(*n*-бутил)ортоформиат.** К 40 г (1000 ммоль)  $\text{NaOH}$  добавили при охлаждении 37,06 г (500 ммоль) *n*-бутанола, через 10 мин. добавили при перемешивании 55 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , затем 0,62 г (1,5 ммоль) ПЭГ-9, затем , затем при охлаждении водой прикапали 29,84 г (250 ммоль, 29 мл)  $\text{CHCl}_3$  и 25 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Перемешивали реакционную смесь 1 ч выдерживая температуру реакционной смеси  $20 - 26^\circ\text{C}$  (охлаждение водяной баней). Затем баню убрали, дали реакционной смеси разогреться до  $32^\circ\text{C}$ , и перемешивали еще 2 ч. Выдержали реакционную смесь 25 ч при  $24^\circ\text{C}$ , добавили 50 мл гексана и отфильтровали неорганический осадок  $\text{NaCl} - \text{NaOH}$ , промыли его 80 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Из фильтрата отогнали  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ -гексан и данным отгоном дополнительно экстрагировали неорганический осадок, из экстракта отогнали  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ -гексан. Объединили кубовые остатки и подвергли вакуумной фракционной перегонке, отбирая фракцию с т.кип.  $97,5 - 100,5^\circ\text{C}$  (40 мм рт. ст.). Получено 16,92 г (43,7 %) три-*n*-бутилортоформиата, бесцветная жидкость,  $n_D^{20}$  1,4160, лит.  $n_D^{27}$  1,4150 [5]. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (300 МГц,  $\text{CDCl}_3$ ,  $\sigma$ , м.д.): 0,932 т (9H,  $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Me}$ ,  $^3J = 7,2$  Гц), 1,403 секс (6H,  $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Me}$ ,  $^3J = 7,2$  Гц), 1,593 квинт (6H,  $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Me}$ ,  $^3J = 7,2$  Гц), 3,539 т (6H,  $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Me}$ ,  $^3J = 7,2$  Гц), 5,145 с (1H, CH).

Из ловушки и предгона выделено 2,42 г (6,5 %) непрореагировавшего *n*-бутанола. Таким образом, выход три-*n*-бутилортоформиата по прореагировавшему *n*-бутанолу составляет 46,7 %.

**Три-(*n*-пентил)ортоформиат.** К 40 г (1000 ммоль)  $\text{NaOH}$  добавили при охлаждении 44,08 г (500 ммоль) *n*-пентанола, затем 20 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , через 20 мин. при перемешивании добавили 0,62 г (1,5 ммоль) ПЭГ-9 и 65 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Затем, при охлаждении водой, прикапали 29,84 г (250 ммоль, 29 мл)  $\text{CHCl}_3$  и 10 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Перемешивали реакционную смесь 5 ч, позволив реакционной смеси сперва разогреться до  $30 - 31^\circ\text{C}$ , затем остынуть до  $23^\circ\text{C}$ . Выдержали реакционную смесь 75

ч при 21°C, затем отфильтровали неорганический осадок NaCl - NaOH, промывая его CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Из фильтрата отогнали CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> и данным отгоном дополнительно экстрагировали неорганический осадок NaCl - NaOH, из экстакта отогнали CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Объединили кубовые остатки и подвергли вакуумной фракционной перегонке, отбирая фракцию с т.кип. 126 – 130 °С (4 мм рт. ст.). Получено 28,40 г (62,1 %) три-*n*-амилортоформиата, бесцветная жидкость,  $n_D^{18}$  1,4132. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (300 МГц, CDCl<sub>3</sub>, σ, м.д.): 0,906 т (9H, OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>Me, <sup>3</sup>J = 6,9 Гц), 1,27-1,41 м (12H, OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Me), 1,607 квинт (6H, OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>Me, <sup>3</sup>J = 6,9 Гц), 3,530 т (6H, OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>Me, <sup>3</sup>J = 6,9 Гц), 5,145 с (1H, CH).

Из ловушки и предгона выделено 8,97 г (20,3 %) непрореагировавшего *n*-пентанола. Таким образом, выход три-*n*-пентилортоформиата по прореагировавшему *n*-пентанолу составляет 77,9 %.

**Вывод.** Таким образом, установлено, что ПЭГ-9 является новым перспективным и дешевым катализатором фазового переноса для получения триалкилортоформиатов из хлороформа, первичных спиртов и NaOH.

**Список литературы:** 1. Синтез и использование α,ω-бис(N,N-диалкиламино)олигооксаалканов и их аналогов как катализаторов фазового переноса для получения триалкилортоформиатов в гетерогенных системах. / В. Г. Штамбург, О. Л. Скобелев, В. М. Гринев, А. А. Дмитренко, А. П. Плешкова, Л. М. Притыкин // Журн. орган. хим. -1995. – т.31, № 3. – С.660 – 664. 2. Получение триалкилортоформиатов из хлороформа и спиртов в условиях меж фазного катализа. / Л. М. Притыкин, В. Г. Штамбург, А. А. Дмитренко, В. М. Гринев, О. Л. Скобелев // Доп. НАН України. – 1995. - № 7. – С. 114 – 117. 3. Способ получения триэтилортоформиата. / В.Г. Штамбург, О. Л. Скобелев, И. Ю. Козак, В. М. Гринев, А. А. Дмитренко, В. Л. Омельницький // Авт. св. СССР № 1781203 (1990). Оpubл. в Б.И. -1992. - № 46. 4. Синтез дибромидов 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-триоксаоктанов и родственных соединений. / В. В. Штамбург, С. А. Паненко, А. В. Мазепа, А. Е. Шишко, В. Б. Дистанов, В. Г. Штамбург // Вісн. Нац. Техн. Ун-ту «ХПІ». – 2012. - № 18. – С.88 – 90. 5. Штамбург В.В., Новый катализатор межфазного переноса для синтеза триалкилортоформиатов. / В. В. Штамбург, В. Г. Штамбург, А. Е. Шишко // Вісн. Нац. Техн. Ун-ту «ХПІ». – 2012. - № 33. – С.146 – 148. 6. Свойства органических соединений. Справочник / Под ред. А. А. Потехина // 1984. – Л., «Химия». – С.263.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК 547.497.6:547.584

**Гетерофазный синтез триалкилортоформиатов в присутствии полиэтиленгликоля-9 / Штамбург В.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 132-136. – Бібліогр.: 5 назв.**

Хлороформ реагує з первинними спиртами та NaOH у гетерофазній системі CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O з утворенням триалкілортоформіатів у присутності поліетиленгліколю-9, який виступає у якості ефективного катализатора міжфазного переносу. Експериментальні дані показують, що за запропонованим методом триметилортоформіат, триетилортоформіат, три-*n*-бутилортоформіат і три-*n*-пентилортоформіат можна отримувати із задовільними виходами.

**Ключові слова:** триалкілортоформіати, міжфазний каталіз, катализатори фазового переносу, поліетиленгліколь-9

Chloroform reacts with the primary alcohols and NaOH yielding trialkyl orthoformates at the presence polyethylene glycol-9 as phase transfer catalyst. The experimental data show that trimethylorthoformate, triethylorthoformate, tri-*n*-butylorthoformate and tri-*n*-pentylorthoformate may be obtained with the moderate yields

**Keywords:** trialkylorthoformates, interphase catalysis, phase transfer catalysts polyethylene glycol-9



**В. А. КІЩЕНКО**, канд. техн. наук, нач. наук.-метод. лабораторії хроматографічних досліджень, ДП «Укрметртестстандарт», Київ;  
**І. В. ЛЕВЧУК**, канд. техн. наук, заст. нач. наук.-метод. лабораторії хроматографічних досліджень, ДП «Укрметртестстандарт», Київ;  
**М. І. ОСЕЙКО**, д-р техн. наук, проф., НУХТ, Київ,  
**О. В. ГОЛУБЕЦЬ**, канд. сіл.-госп. наук, с. н. с., ДП «Укрметртестстандарт», Київ,  
**О. А. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, с. н. с., НТУ «ХПІ», Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ СКВАЛЕНУ – УНІКАЛЬНОГО ФІТОСТЕРИНУ ЛІПІДІВ МЕТОДОМ ГАЗОРІДИННОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ

Наведено унікальні властивості фітостерину ліпідів – сквалену. Показана необхідність ідентифікації сквалену в амарантовій олії і сумішевих оліях. Розроблено методику визначення сквалену для проведення контролю олій у виробництві дієтичних і лікувально-профілактичних продуктів, у виробництві косметичної, харчової та іншої продукції.

**Ключові слова:** рослинні олії, амарантова олія, сквален, ідентифікація, газорідинна хроматографія.

**Вступ.** Одним із шляхів вирішення проблеми здоров'я та харчування населення є виробництво і широке використання якісних і безпечних рослинних олій з гарантованим вмістом поліненасичених жирних кислот, вітамінів, фітостеринів та інших життєво-необхідних для організму людини біологічно-активних сполук [1, 2].

Перевага використання рослинної олії для корекції нестачі фізіологічно-функціональних інгредієнтів перед лікарськими препаратами, що їх містять, полягає в тому, що рослинна олія є традиційним харчовим продуктом, який не дає ускладнень і побічних реакцій в організмі.

Харчова цінність і біологічні властивості рослинних олій не обмежуються лише жирнокислотним складом. Велике значення має вміст в олії супутніх речовин, серед яких особлива роль належить антиоксидантам – токоферолам, каротиноїдам і фітостеринам. Перспективними джерелами нетрадиційної сировини в цьому відношенні є насіння льону, рижю, конопель, волоські горіхи, зародки пшениці і амарант [2 – 4].

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** Амарант (*від грецьк. – вічний, нев'янучий*) – привертає на себе увагу дослідників та практиків сільського господарства та харчової промисловості багатством та збалансованістю білка, високою врожайністю, підвищеним складом вітамінів та мінеральних солей. Насіння амаранту містить в середньому 15 - 17 % білку, 5 - 8 % олії та 3,7 - 5,7 % клітковини, що більше, ніж в більшості зернових культур [5, 6]. Фізико-хімічний склад насіння амаранту, як і інших олійних культур, залежить від видової приналежності, кольоровості насіння, кліматичних умов вирощування. Вміст олії в світлому насінні складає 7,53 - 9,71 %, а в темному – 5,81 - 6,81 % [7]. Не зважаючи на низький вміст олії, насіння амаранту є джерелом для виробництва цінної олії. Унікальність олії амаранту визначають дві його складові. Перша – вітамін Е у доволі рідкій формі токотриєну, особливо активній (завдяки чому він вважається могутнім антиоксидантом), а друга – це сквален.

Сквален  $C_{30}H_{50}$  – це природний ациклічний тритерпен з шістьма подвійними зв'язками, а саме: 2,6,10,15,19,23-гексаметил-2,6,10,14,18,22-тетракозагексаєн.

Сквален використовується в різних галузях фармацевтичної, парфумерної і косметичної промисловості. Ця речовина є обов'язковою складовою людської шкіри та являється проміжною ланкою при біосинтезі холестерину у вітамін D. Сквален активно сприяє нормалізації процесів тканинного дихання і обміну речовин в організмі, має антиканцерогенний та протипухлинний вплив, підвищує стійкість організму до різнотипних вірусів, бактеріальних і грибкових інфекцій та впливу радіаційного випромінювання [8, 9].

У чистому вигляді сквален отримують з печінки глибоководних акул (назва сквален походить від *squalus* – акула), що визначає високу собівартість отриманого продукту. Сквален міститься також в рослинних оліях, у більшості тваринних та рослинних тканин. В традиційних олійних культурах його вміст, як правило, не перевищує 1%. Так маслинова олія містить 0,7 % сквалену, олія з рисових висівок – 0,3 %, олія з пшеничних зародків і кукурудзяна олія – 0,1 %, в той час як в олії амаранту його вміст варіюється від 4,8 до 8 %. Таким чином, насіння амаранту є альтернативним джерелом натурального сквалену [9, 10].

Сучасний технологічний процес переробки олійного насіння передбачає наступні операції:

- підготовка до зберігання та зберігання насіння;
- підготовка насіння до вилучення олії;
- вилучення олії (пресуванням, прямою екстракцією, послідовним пресуванням та екстракцією);
- первинне та комплексне очищення олії;
- обробка шроту [2].

Однак низький вміст олії та наявність великої кількості крохмалістих речовин ускладнює вологотеплову обробку та пресування насіння амаранту. Отримати олію безпосередньо з насіння або борошна амаранту на шнекових пресах практично неможливо, тому для отримання олії з насіння амаранту зазвичай використовується екстракція органічними розчинниками. Хімічний склад амарантової олії може відрізнятися в залежності від виробника та способу отримання (пресовий, екстракційний, флюїдна екстракція, мацерація). Так, у складі екстракційної олії міститься більше фосфоліпідів та токоферолів, а при холодному пресуванні більшою мірою вивільняються тригліцерини, вільні жирні кислоти та ефіри стеринів, при екстракції рідким CO<sub>2</sub> та рослинною олією в екстрактах практично відсутні фосфоровмісні речовини та воски, тому екстракти придатні до використання без додаткової обробки [10 – 12].

Олія амаранту, завдяки своєму унікальному біохімічному складу має яскраво виражені профілактичні та лікувальні властивості. Поєднання протипухлинних, протизапальних, антибактеріальних, кровоспиняючих та сечогінних якостей амарантової олії значно підвищує ефект лікарської терапії онкологічних, токсико-інфекційних та інших захворювань. Амарантова олія добре поєднується з будь-яким медикаментозним лікуванням, знижує побічні ефекти активної терапії (хіміо- та радіотерапія), зменшує прояви токсикозів, відновлює роботу клітин та епітелію, залоз внутрішньої секреції, кровоносної системи, попереджує розвиток ерозійних процесів [13, 14].

В умовах сьогодення важливим є практичне використання амарантової олії у виробництві продуктів дієтичного, лікувально-профілактичного призначення, в технологіях парфумерно-косметичної та олієжирової продукції.

Необхідно зазначити, що у зв'язку з розповсюдженням псевдо амарантових олій та олійних екстрактів («Амарантова олія», «Олія амарантова», «Олія амаранту» тощо) актуальним є ідентифікація і кількісне визначення сквалену у рослинних і купажованих оліях.

**Мета досліджень.** Таким чином, метою дослідження є розробка методики визначення сквалену для проведення моніторингу олій за його вмістом.

**Результати досліджень.** Дослідження сквалену проведено на газовому хроматографі HP 6890 фірми HEWLETT PACKARD з автоматичним інжектором з діленням потоку (split), оснащеному термостатом колонки з програмуванням температури, полум'яно-іонізаційним детектором і комп'ютерною системою зі спеціальним програмним забезпеченням для автоматичного інтегрування та ідентифікації піків Chem. Station Ver. A.06.03. Для газохроматографічного розділення визначено такі умови:

1. Температурний режим термостата колонки наведено у таблиці.

Таблиця – Температурний режим термостата колонки

швидкість (°с /хв.)	температура, °с	час, хв.
початкова	250	0
15	280	1,0
15	340	4,0
0	350	1,0

2. Інжекційна система з діленням потоку (split): температура – 340°C; тиск – 20,75 psi; коефіцієнт ділення потоку (split ratio) – 20:1; потік ділення – 49,9 мл/хв; загальний потік – 55,3 мл/хв.

3. Газ-носії – гелій; потік газу-носія – 2,5 мл/хв.

4. Капілярна колонка Vf-5 ms з нерухомою неполярною фазою – (5%-феніл)-диметилполісілоксаном: довжина 30 м, діаметр 0,32 мм, товщина плівки 0,25 мкм, високотемпературна (максимальна температура – 350°C).

5. Детектор полум'яно-іонізаційний (ПІД): температура – 350°C; потік водню – 30 мл/хв; потік повітря – 300 мл/хв; допоміжний потік – 20 мл/хв; допоміжний газ-носії – азот.

6. Об'єм введеної проби – 1,0 мкл.

7. Концентрація зразка – 1,0 мг/мл.

8. Загальна тривалість аналізу – 11,0 хв.

При дослідженні як якісного так і кількісного визначення сквалену в оліях методом газорідинної хроматографії використано у якості внутрішнього стандарту сквалан [15].

Для підготовки проб брали наважки зразків олій по 2 г (на вагах Melter Toledo) у колбу об'ємом 250 мл.

Омилення проби відбувалось при додаванні 50 мл розчину гідроксиду калію в метанолі. Перед цим додали до проби 2 мл стандартного розчину сквалану (як внутрішній стандарт) та кип'ятили протягом 1 год. По закінченні нагрівання додавали 50 мл бідистильованої води та охолоджували вміст колби.

Після охолодження проводили екстракцію неомилюємих речовин (це стерини, вищі вуглеводні та спирти, спирти аліфатичного і терпенового ряду та інші органічні речовини, що присутні у продукті, які після омилення їдким калієм та екстракції гексаном залишаються у сухому залишку). Для цього переносили розчин у ділільну

лійку. Колбу промивали діетиловим етером (40 мл) та переносили її вміст у ділильну лійку. Струшували лійку протягом 1 хв. та залишали в спокої для розділення шарів.

Для видалення розчинника – діетилового етеру – кількісно переносили ефірний розчин з ділильної лійки у колбу (250 мл), лійку промивали діетиловим етером (5 мл) та випаровували розчинник з колби на ротаційному випарнику. Сухий залишок висушували протягом 15 хв. у сушильній шафі, розчиняли у діетиловому етері (1,0 – 1,5 мл) і переносили кількісно до віали. Залишали на плитці під витяжною шафою до повного випаровування етеру. Процедуру повторювали ще двічі. До одержаного сухого залишку додавали 1 мл розчинника – хлороформу. Для відокремлення стеринової фракції від інших неомилюємих речовин використовували метод тонкошарової хроматографії (ТШХ). Проявляли пластину 0,5 % розчином родаміну 6G в етанолі. Ідентифікували у світлі УФ-лампи смугу (пляму), що відповідає стеринам, порівнюючи зі смугою стандарту («свідка»). Переносили ідентифіковану смугу разом із сорбентом у колбу для фільтрування, додавали 5 мл діетилового етеру. Прокип'ятили протягом 15 хв та відфільтрували крізь паперовий фільтр. Повторили процедуру фільтрування з додаванням 5 мл етеру тричі. Залишали розчинник випаровуватись з фільтрату, після чого додали 1 мл етеру і перенесли кількісно до віали. Сквален було ідентифіковано за часом утримання відповідно до часу утримання стандарту (сквалену). Склад аналізованої суміші кількісно розрахували методом внутрішнього стандарту, який ґрунтується на тому, що до наважки проби додають відому кількість внутрішнього стандарту (сквалану) – сторонньої сполуки, що дає на хроматограмі добре розділений пік (рис. 1, 2).

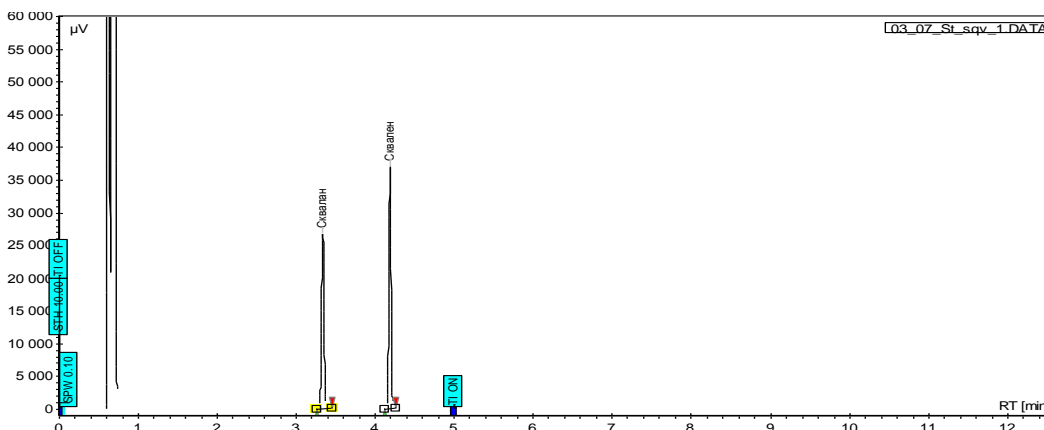


Рис.1 – Хроматограма стандартної суміші сквалану і сквалену

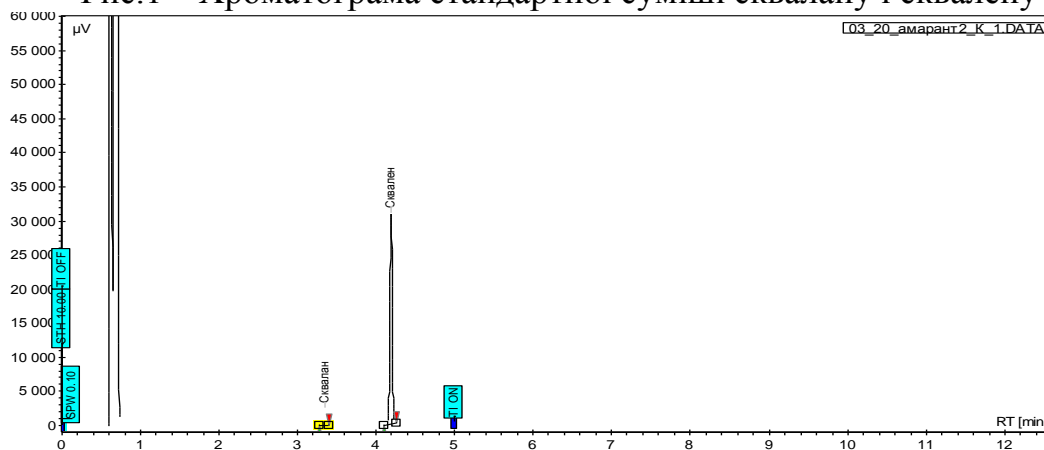


Рис. 2 – Хроматограма підготовленої проби амарантової олії зі скваленом

З використанням розробленої методики проводиться моніторинг вмісту сквалену в рослинних і купажованих оліях.

**Висновки.** Розроблено методику щодо визначення сквалену в амарантовій, рослинних оліях та олійних екстрактах методом газорідинної хроматографії. Методика забезпечує визначення якісного та кількісного вмісту сквалену в оліях, які використовуються у виробництві дієтичних, лікувально-профілактичних продуктів і добавок, в технологіях парфумерно-косметичної та олієжирової продукції.

**Список літератури:** 1. *Осейко М.* Інноваційні технології та безпечність олієжирової продукції / *М. Осейко, В. Кіщенко, І. Левчук* // Харчова і переробна промисловість. – К.: НУХТ, 2008. – Вип. 3 (343). – С. 22 – 24. 2. *Осейко М. І.* Технологія рослинних олій / *М. І. Осейко.* – Київ: ВВ «Варта», 2006. – 280 с. 3. *Осейко М. І.* Нанотехнології ліпидовмісних оздоровчих продуктів, екстрактів і добавок у системі КТІОЛ [Текст] / *М. І. Осейко* // Новітні технології оздоровчих продуктів харчування ХХІ століття: Міжнародна науково-практична конференція, 21 жовтня 2010 р. – Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2010. – С. 65 – 66. 4. *Тутельян В. А.* Функциональные жировые продукты в структуре питания / *В. А. Тутельян, А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова* // Масложировая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 6 – 9. 5. *Кононков П. Ф.* Амарант перспективная культура ХХІ века / *П. Ф. Кононков, В. К. Гинс, М. С. Гинс.* – Науч. изд. – М.: Изд-во РУДН, 1999. – 297 с. 6. *Чиркова Т. В.* Амарант культура ХХІ века / *Т. В. Чиркова* // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 10. – С. 22 – 27. 7. *Камышева И. М.* Разработка технологий комплексной переработки семян амаранта на пищевые цели: Автореф. дис. канд. техн. наук: Спец. 05.18.06 / *И. М. Камышева*; ГНУ ВНИИЖ. – СПб, 2000. – 37 с. 8. *Козярин И. П.* Амарант хвостатый – ценное пищевое и лекарственное растение / *И. П. Козярин, Г. Н. Липкан* // Биология та фармація. – Київ, 2009. – № 3. – С. 60 – 63. 9. *He N. P.* Extraction and purification of squalene from amaranthus grain / *N. P. He, Y. Cai, M. Sun, H. Gorke* // J. Agric. Food Chem., 2002. – V.50. – P. 368 – 372. 10. *Быкова С. Ф.* Семена амаранта – новое масложировое сырье / *С. Ф. Быкова, Е. К. Давиденко, Ю. В. Быков* // Масла и жиры, 2006. – № 11 (68). – С. 14 – 15. 11. *Журавель Н. В.* Амарант – перспективная зернокармливая культура для возделывания на юге России: [Электронный ресурс] / *Н. В. Журавель, В. В. Чумакова* // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 2. – Режим доступа: [http://www.zhros.ru/num20\(2\)\\_2012/pdf/st03\\_02\\_2012-20\\_zhuravel.pdf](http://www.zhros.ru/num20(2)_2012/pdf/st03_02_2012-20_zhuravel.pdf) 12. *Кретов И. Т.* Масло из семян амаранта / *И. Т. Кретов, С. Н. Соколов, Л. А. Мирошниченко, И. М. Жаркова* // Масложировая промышленность, 2006. – № 1. – С. 22 – 23. 13. *Козярин И. П.* Амарант хвостатый – ценное пищевое и лекарственное растение / *Козярин И. П., Липкан Г. Н.* // Фітотерапія. Часопис. – 2009. – № 3. – С. 60 – 63. 14. Амарантовое масло – Ваш секрет долголетия: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amarant-aktiv.com/index.html> 15. Жири та олії тваринні і рослинні. Визначення складу стерінової фракції. Газохроматографічний метод (ISO 6799:1991, IDT): ДСТУ ISO 6799-2002. – [Чинний від 2003-04-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 13 с. – (Національні стандарти України).

Поступила в редколегію 11.03.2013

УДК 664:665.1/7:539:542/543

**Визначення сквалену – унікального фітостерину ліпідів методом газорідинної хроматографії / Кіщенко В. А., Левчук І. В., Осейко М. І., Голубець О. В., Литвиненко О. А.** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 137-141. – Бібліогр.:15 назв.

Приведены уникальные свойства фитостерина липидов сквалена. Показана необходимость идентификации сквалена в амарантовом масле и смесевых маслах. Разработана методика определения сквалена для проведения контроля масел в производстве диетических и лечебно-профилактических продуктов, в производстве косметической, пищевой и другой продукции.

**Ключевые слова:** растительные масла, амарантовое масло, сквален, идентификация, газожидкостная хроматография.

Unique properties of phytosterol of lipids of squalene are brought. The necessity of identifying squalene in amaranth oil and blended oils is shown. The definition technique of squalene is developed for monitoring procedure of oils for the production of dietary and treatment-and-prophylactic products, for producing cosmetic, food and other products.

**Keywords:** vegetable oils, amaranth oil, squalene, authentication, gas-liquid chromatography.

**Ю. В. МОСЕЙКО**, канд. пед. наук, доц., ЗДІА, Запоріжжя

## **ПРОУЩІЛЬНЕННЯ ПОРИСТИХ КОМПОЗИТІВ ЗА НИЗЬКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ**

Розглянуто процес низькотемпературного ущільнення поруватої структури вуглецевого композиту піролітичним вуглецем. Визначено головні технологічні параметри процесів дифузії та розкладання пропану в поруватій структурі.

**Ключові слова:** вуглецевий композит, розкладання пропану, піролітичний вуглець, ущільнення, дифузія

**Вступ.** Заповнення пористої структури карбонізованих матеріалів піролітичним вуглецем забезпечує підвищення щільності та міцності зазначених матеріалів, збільшення теплоємності і термостійкості композитів.

Нині відомо три способи одержання вуглецевих композитів різних структур армування, а саме: газофазовий, рідкофазовий і комбінований. Найбільш поширеним є газофазовий спосіб. Перевага об'ємного ущільнення піролітичним вуглецем порівняно із ущільненням рідкими вуглеводнями полягає у відсутності усадки одержуваних матеріалів під час нагрівання.

Досить розроблено та широко застосовують ізотермічний процес ущільнення пористих вуглецевих композитів у середовищі природного газу за температур 900...1300 °С в умовах зниженого тиску, який реалізують у проточному термохімічному реакторі. Проте процес піролітичного ущільнення карбонізованих матеріалів у зазначених вище умовах характеризується досить високою вартістю. Вирішення проблеми конкурентоспроможності вуглецевих композитів припускає зниження енерговитрат, обумовлених пониженням температури під час реалізації процесу.

Використання пропана як реакційного газу дозволяє значно понизити температуру піролітичного ущільнення композитів. Дана робота присвячена визначенню раціональних технологічних параметрів процесу низькотемпературного осадження піролітичного вуглецю з пропану в об'єм пористих вуглецевих композитів.

Розглядали прямолінійну пору, що розташовано перпендикулярно до поверхні композиту та має круговий поперечний переріз з ефективним радіусом  $r$ . Кінетичну модель, яка описує процес дифузійного перенесення пропану довжиною пори та розкладання його на нагрітих поверхнях із осадженням твердого осаду - піролітичного вуглецю, представляють у вигляді рівняння [1]:

$$r \cdot D \cdot \frac{d^2 C}{d\ell^2} = 2k \cdot f(C), \quad (1)$$

де  $D$  - коефіцієнт дифузії для пропана;  $C$  - концентрація пропана;  $\ell$  - координата щодо довжини пори;  $k$  - константа швидкості утворення піролітичного вуглецю;  $f(C)$  - концентраційна функція.

У рівнянні (1) константа швидкості утворення піролітичного вуглецю задається співвідношенням Ареніуса [2]:

$$k = k_0 \cdot \exp\left[-\frac{E}{R \cdot T}\right], \quad (2)$$

де  $k_0$  - передекспоненціальний множник;  $E$  - енергія активації;  $R$  – універсальна газова постійна;  $T$  - температура процесу піролітичного ущільнення (кількісні значення параметрів  $k_0$  і  $E$  визначено у роботі [3]).

Граничні умови для рівняння (1) задаються як:

$$C|_{\ell=0} = C_0; \quad (3)$$

$$\frac{dC}{d\ell}|_{\ell=0,5h} = 0, \quad (4)$$

де  $C_0$  - концентрація реакційного газу біля поверхні композиту;  $h$  - товщина ущільнюваного композиту.

Умова (3) показує відповідність концентрації реакційного газу в гирлі пори тв у потоці цього газу з об'єму реактора на стінку пористого вуглецевого композиту [4]. Умова (4) припускає симетрію процесу ущільнення, тобто рівність обох поверхонь, на які має вихід модельна пора.

Вирішення рівняння (1) з урахуванням граничних умов (3) і (4) подається співвідношенням

$$C = \frac{C_0}{1 + \exp(\beta \cdot h)} [\exp(\beta \cdot \ell) + \exp(h - \ell)], \quad (5)$$

де  $\beta = \left(\frac{2k}{r \cdot D}\right)^{0,5}$ .

Процес осадження піролітичного вуглецю у порах композиту супроводжується двома конкуруючими процесами. Перший процес визначається швидкістю дифузії реакційного газу в пористу структуру, а другий - швидкістю його розкладання на нагрітій поверхні пори з утворенням піролітичного вуглецю. Обидва процеси значною мірою залежать від температури, а другий процес - і від концентрації реакційного газу.

Швидкість осадження піролітичного вуглецю визначається співвідношенням

$$V_{n.e.} = k_0 \cdot \exp\left[-\frac{E}{R \cdot T}\right] \cdot C. \quad (6)$$

Інтерес має залежність швидкості осадження піролітичного вуглецю від температури у центрі стінки вуглецевого композиту ( $\ell = 0,5 h$ ).

Для цього слід визначити коефіцієнт дифузії у вигляді функції, що залежить від температури, :

$$D = D_0 \cdot \left[\frac{T}{T_0}\right]^{1,5}, \quad (7)$$

де  $D_0$  - коефіцієнт дифузії за температури  $T_0$ .

На рис. 1 подано залежність швидкості осадження піролітичного вуглецю від температури у центрі стінки ( $\ell = 0,5 h$ ).

Дослідження процесу ущільнення пористих композитів піролітичним вуглецем, що одержують під час розкладання пропану, проводили на спеціально розробленій установці. Як експериментальний матеріал використовували карбонізований вуглепластик із порами від 0,1 до 100 мкм. Розподіл пористості задавали подвійними Гамма-розподілами

$$f(r) = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{\alpha_i \cdot \beta_i^{\alpha_i+1}} \cdot r^{\alpha_i} \cdot \exp\left(-\frac{r}{\beta_i}\right), \quad (8)$$

де  $\alpha_i, \beta_i$  - параметри розподілу.

Співвідношення параметрів розподілу  $\alpha_i, \beta_i$  встановлювали згідно з вимогою:

$$\int_0^{\infty} f(r) dr = 1 \cdot \quad (9)$$

Зразки карбонізованого вуглепластика мали товщину 9,8 мм і уявну щільність, що дорівнювала  $1,08 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup>. Піролітичне ущільнення досліджуваних зразків у реакторі здійснювали за тиском реакційного газу-пропана ( $101,6 \pm 10$ ) кПа та його витрати ( $0,08 \pm 0,20$ )  $10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с.

Відносна масова швидкість осадження піролітичного вуглецю представляється формулою:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = 1,96 \cdot \exp[0,0075\tau] \cdot \quad (10)$$

де  $\alpha = (\Delta m / m_i) \cdot 100$  %;  $\tau$  - тривалість процесу, год.; ( $\Delta m$  - збільшення маси зразка за рахунок осадження піролітичного вуглецю, г;  $m_i$  - початкова маса зразка, г.

Відповідно до результатів проведених досліджень прийнятними параметрами для процесу піролітичного ущільнення вуглецевих композитів пропаном встановлено: температура - 630 °С, тиск - 101,6 кПа та витрата цього газу -  $0,1 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с.

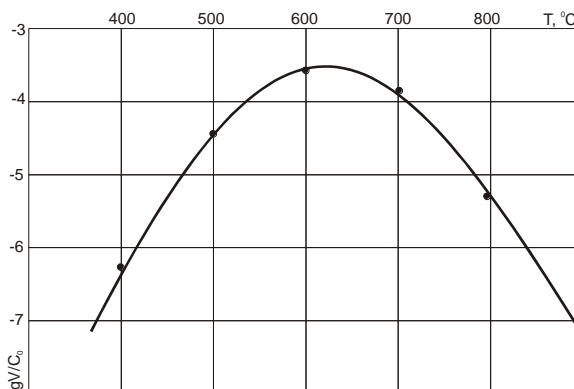


Рис. 1 – Залежність швидкості утворення піролітичного вуглецю від температури у центрі стінки ( $\ell = 0,5$  h)

**Список літератури:** 1. Скачков, В. А. Анализ методов газофазного уплотнения пористых углерод-углеродных композиционных материалов [Текст] / В. А. Скачков // *Металлургия: научные труды Запорожской государственной инженерной академии.* – Запорожье : ЗГИА, 2003. – Вып.7. – С. 70-77. 2. Теснер, П. А. Образование углерода из углеводородов газовой фазы [Текст] / П. А. Теснер. – М. : Химия, 1972. – 136 с. – Библиогр. : с. 134-135. 3. Скачков, В. А. Определение кинетических параметров процесса осаждения пиrolитического углерода [Текст] / В. А. Скачков, Р. А. Шаповалов, В. И. Иванов // *Металлургия: научные труды Запорожской государственной инженерной академии.* – Запорожье : ЗГИА, 2000. – Вып. 3. – С. 52-55. 4. Математические модели процессов температурной обработки и уплотнения в производстве углеродных композиционных материалов / В. А. Скачков, В. Д. Карпенко, В. И. Иванов, Е. В. Скачков // *Вопросы атомной науки и техники.* – Харьков : ННЦ «ХФТИ», 1999. – Вып. 4 (76). – С. 3-12.

Надійшла до редколегії 20.02.2013

УДК 620.22:661.666

**Піроущільнення пористих композитів за низької температури / Ю. В. Мосейко // Вісник НТУ «ХПІ».** Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 142-145. – Бібліогр.: 4 назв.

Рассмотрен процесс низкотемпературного уплотнения пористой структуры углеродного композита пиrolитическим углеродом. Определены основные технологические параметры процессов диффузии и разложения пропана в пористой структуре.

**Ключевые слова:** углеродный композит, разложение пропана, пиrolитический углерод, уплотнение, диффузия



The process of the low temperature compaction for porous structure of carbon composite by pyrolytical carbon. There are certain the basic technological parameters of diffusion and decomposition processes for propane in a porous structure.

**Keywords:** carbon composite, decomposition of propane, pyrolytical carbon, compaction, diffusion

**УДК 669.111.35:669.173.23**

*А. Г. КИРИЧЕНКО*, канд. техн. наук, доц., ЗГИА, Запорожье

## **МАКРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОГО РАСПАДА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ НА МЕТАЛЛАХ ПОДГРУППЫ ЖЕЛЕЗА. ЧАСТЬ 1**

На основании анализа накопленных данных представлено феноменологическое описание термокаталитического распада монооксида углерода на металлах подгруппы железа. Представлен анализ стадий взаимодействия: восстановления, карбидирования и выделения углерода на катализаторе.

**Ключевые слова:** углерод, монооксид, железо, карбидирование, восстановление, катализатор

### **Введение**

Анализ накопленного материала о реакции термокаталитического распада монооксида углерода (ТКР СО) на металлах подгруппы железа позволяет обобщить ранее сформировавшиеся представления и с достаточно большой долей уверенности сформулировать основополагающие понятия сложного механизма взаимодействия СО с катализаторобразующим материалом, подробно выделив особенности полного постадийного протекания процесса.

Первоначальные этапы взаимодействия сводятся к восстановлению и карбидированию металлов с последующим формированием активной фазы катализатора. В адсорбционном слое на поверхности активной фазы идут процессы, приводящие к выделению атомов углерода, диффундирующих затем от мест их образования к фронту кристаллизации. Кристаллизация графита сопровождается разрушением скелета активной фазы и диспергированием катализатора.

### **Анализ достижений и публикаций**

Развитие реакции ТКР СО принято интерпретировать исходя из принципов адсорбционно-каталитической теории, что в конечном итоге не вызывает возражений, хотя ни одна из предложенных доктрин не согласуется достаточным образом с кинетическими данными и не лишена противоречий. Наиболее продуктивным для анализа механизма нам представляется развитие гипотезы [1], предполагающей образование на металлической поверхности промежуточных комплексов, при максимальном учете химических свойств взаимодействующих веществ. Реализация механизма термокаталитического распада СО-содержащих газов на металлах группы железа с нашей точки зрения может осуществляться в двух направлениях: выделение атомов углерода путём разложения карбидных соединений и при распаде гидрокарбонильных комплексов металлов группы железа, образующихся на поверхности катализатора.

Для получения углеродного осадка с заданной морфологией также необходимо четкое представление о пути и механизме диффузии углерода и особенностях

© А. Г. КИРИЧЕНКО, 2013

кристаллизации углерода на поверхности катализатора.

### **Формулирование целей**

Обзор известных литературных данных свидетельствует об отсутствии достоверной и надежной информации о механизме и кинетике протекания процесса ТКР СО. Целью работы является проведение анализа, направленного на сопоставление, обобщение, систематизацию, расширение и уточнение информации в этом направлении.

### **Анализ и обсуждение результатов**

Рассмотрим основные этапы взаимодействия катализаторов с СО-содержащим газом подробнее.

### **Восстановление**

При условии проведения ТКР СО на оксидных катализаторах восстановление является необходимым и очень важным этапом процесса, т.к. поскольку именно в этот период формируется поверхность активной фазы катализатора, обеспечивающая успешное протекание разложения СО. На сегодняшний день существует достаточное количество классической литературы, в которой досконально подвергнуты анализу особенности кинетики восстановления металлов группы железа и кристаллохимические превращения, сопровождающие этот процесс [2]. В условиях данного обзора представляет интерес обозначить основной вывод предшествующих работ. Он состоит в следующем: объемные трансформации при кристаллической перестройке оксидов в процессе восстановления приводят к возникновению на поверхности катализатора всякого рода дефектов, которые в конечном результате и обуславливают каталитическую активность в отношении реакции диспропорционирования СО. Количество и природа таких дефектов определяются режимом восстановления и зависят от большого числа внешних факторов, главнейшими из которых являются природа оксида, тип газа-восстановителя и температура.

Режим восстановления характеризуется адсорбцией молекулы СО на поверхности катализатора. Ничем другим кроме значительного ослабления связи С – О нельзя объяснить довольно высокие скорости распада СО. В связи с этим было допущено, что ослабление связи С – О является следствием более сложного процесса, чем просто хемосорбция, в частности последствием образования гидрокарбонильных комплексов при взаимодействии хемосорбированных молекул СО и Н<sub>2</sub>.

Основное требование, выполнение которого может обеспечить достижение высокой каталитической активности получаемого катализатора, сводится к следующему: в качестве катализаторобразующих материалов надлежит использовать дисперсные легковосстановимые оксиды с высокой концентрацией дефектов в исходном состоянии. Роль природы газа-восстановителя в формировании активного катализатора распада СО имеет также весьма немаловажное значение. Наиболее подходящим восстановителем при умеренных температурах следует признать смеси СО-Н<sub>2</sub>, имеющие высокий восстановительный и науглероживающий потенциал [3,4].

### **Карбидирование**

Специфической особенностью этапа восстановления оксидов СО-содержащими газами является одновременное протекание процессов восстановления и карбидирования, проявляющееся в довольно длительном сосуществовании оксидных и карбидных фаз в объеме образца и даже отдельных зерен.

Зародыши новой фазы формируются на активных центрах, в качестве которых могут служить поверхностные дефекты, ассоциаты, кластеры, выходы дислокаций на

поверхность кристалла и т. п. Строение решеток графита и карбида  $Fe_3C$  существенно отличается от решетки  $\alpha-Fe$ . Поэтому новая фаза при науглероживании железа может формироваться только вне объема исходной фазы, а диффузия углерода в ней возможна только по точечным и протяженным дефектам.

Макромеханизм науглероживания железа основывается на предположении о том, что местом реагирования на всех этапах процесса служит граница раздела исходной твердой фазы ( $\alpha-Fe$ ) и газовой фазы ( $CO$ ).

Адсорбция  $CO$  в ионной форме протекает на свободных атомах железа, число которых значительно увеличивается при карбидировании катализатора в результате протекания двух конкурирующих процессов: связывания атомов железа углеродом и увеличения свободных атомов за счёт довосстановления катализатора. При увеличении содержания карбида в катализаторе скорость карбидирования его снижается. При последующем увеличении содержания углерода в образце происходит еще более неожиданное увеличение количества закристаллизованной фазы  $\alpha-Fe$ . При достижении определенной степени перенасыщения углеродом из такого раствора спонтанно выпадает фаза  $Fe_3C$ , а оставшееся в избытке железо кристаллизуется в виде  $\alpha-Fe$ . Процесс накопления карбидной фазы  $Fe_3C$  аналогичен ходу образования новой фазы из раствора: сначала фаза  $Fe_3C$  не обнаруживается, затем возникает в незначительном количестве и долгое время не увеличивается (индукционный период, стадия зарождения новой фазы в объеме раствора) и, наконец, бурное образование новой фазы по всему объему раствора.

Итак, стадия карбидизации начинается с перемещения углерода в феррит до состояния перенасыщения. Перенасыщение поверхности металла углеродом приводит к образованию карбида. Формирование карбида сопровождается одновременным формированием графита, при этом накопление свободного углерода в порах и микротрещинах приводит к разрушению карбида, так как известно, что фаза  $Fe_3C$  в условиях низкотемпературного науглероживания метастабильна, в то время как фазы  $\alpha-Fe$  и графита термодинамически устойчивы и поэтому первая склонна к разрушению. Следует отметить, что не представляется возможным разделить как во времени, так и в пространстве процессы восстановления, карбидирования и выделения свободного углерода, по крайней мере, на начальных стадиях протекания процесса. В конечном счете, если процесс самопроизвольного процесса отложения углерода происходит без влияний извне, то цементит преобразуются к фазе с преобладающим содержанием углерода. Следует также сделать важное замечание, что источниками и центрами кристаллизации свободного углерода в определенном температурном интервале являются карбиды. Распад карбида начинается после выделения углерода и его внутреннего роста вглубь слоя карбида и сопровождается формированием внешней области углерода. Очевидно, что карбид преобразуется в углерод и железо непосредственно, тем более протекание этого процесса в сторону образования свободного углерода является термодинамически вероятным.

Также существует гипотеза [5], согласно которой протекания твердофазной реакции возможно через промежуточную стадию образования аморфного вещества. Значительный избыток энергии переходных аморфных состояний объясняет их неустойчивое (метастабильное) поведение. Известно, что устойчивость метастабильных образований повышается при переходе от макроскопических фаз к микрогетерогенным системам. Такой системой, очевидно, является продукт разрушения фазы  $\alpha-Fe$  углеродом. В связи с этим можно предположить, что

промежуточной стадией науглероживания железа СО в определенных условиях может быть образование аморфных структур неопределенного состава  $(\text{Fe}_x\text{C}_y)_{\text{ам}}$ . Достижение некоторого предельного отношения приводит к перестройке беспорядочной структуры аморфных образований в твердый раствор железа на основе фазы  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

### **Выделение атомов углерода**

Для исследователей всегда было загадкой: какова же роль карбидов в процессе выделения атомов углерода, что первично – карбид или углерод, является ли карбид своеобразной подложкой для отложения углерода, какова возможность и устойчивость их совместного сосуществования и где проходит граница между разрушением карбидной фазы и возникновением углерода?

Известно [1], что при термокаталитическом распаде СО на поверхности катализатора синхронно проходят два самостоятельных процесса, приводящие к появлению на активных центрах атомов углерода: образование и распад гидрокарбонильных комплексов и диссоциация адсорбированных молекул СО.

Карбидным фазам также отводится одна из ведущих ролей наряду с вышеуказанными механизмами в вопросе формирования атомов углерода. В работе [6] указывалось, что при температурах ниже определённого предела образуются только карбиды, а выше этого предела — углерод. При определённых температурах ( $>270\text{--}300^\circ\text{C}$ ) термическое разложение  $\text{Co}_2\text{C}$  должно протекать быстрее, чем его образование.

Авторы [7] пришли к выводу, что "гипотеза, согласно которой карбиды являются промежуточными соединениями при образовании свободного углерода, привлекательна, но никоим образом не доказана". Образование карбидов рассматривалось ими как "сопутствующий процесс".

В [8] выделению углерода из карбида железа отводилась лимитирующая стадия реакции образования углерода на карбиде. Формирование углерода на фазе карбида происходит за счёт выделения атомов углерода из решётки карбида, взаимодействия углеводорода с поверхностной формой карбида с нарушенной стехиометрией по углероду. Но при этом обеднение поверхностных активных мест карбида лимитируется отводом углерода от мест его выделения к центрам его конденсации.

Согласно представлениям [9] синтез углеводородов и спиртов из СО и  $\text{H}_2$  и карбидирование поверхности является сопряженными реакциями. Если фазовое превращение катализатора и каталитическая реакция имеют общую стадию, то каталитическая реакция изменяет скорость фазового превращения. Активными центрами железного катализатора синтеза являются точечные дефекты поверхности карбида железа.

Т.о., лимитирующей стадией в реакции образования углеродистых отложений является образование и распад карбидных или карбидоподобных фаз металла. С большой долей уверенности можно предположить, что поверхностные карбиды нельзя рассматривать как промежуточное соединение в сложном процессе ТКР СО на металлическом катализаторе, так как вероятнее всего каталитическая активность присуща системе типа твёрдого раствора металла в его карбиде. При этом роль активных центров синтеза, на которых происходит активация СО, играют атомы (группы атомов) металлической фазы, что не противоречит ранее известным представлениям о каталитической активности атомов железа. Естественно предположить, что при катализе металлических катализаторов местами повышенной активности должны быть межфазные границы карбида и атомов металла, где

концентрация точечных дефектов в карбидном состоянии должна быть особенно высока.

В свете вышеизложенного неправомерно обсуждение вопроса о том, что является активным: металл или карбид. Следует, однако, иметь в виду, что скорость образования углеродистых отложений на карбиде существенно ниже, чем на металле или на металле в слое его карбида, и увеличивается с температурой. При образовании углерода на металлической поверхности лимитирующим этапом является стадия образования карбидоподобного соединения, которая при определенных условиях является основой для возникновения наиболее благоприятной с каталитической точки зрения гибридной смешанной металл-карбидной фазы.

### **Выводы**

На основании проанализированных выше сведений можно сформулировать следующие заключения:

1. В качестве катализаторобразующих материалов для термокаталитического распада СО следует использовать дисперсные легковосстановимые оксиды металлов группы железа с высокой концентрацией дефектов в исходном состоянии. Восстановление надлежит проводить при низких температурах в смесях СО-Н<sub>2</sub>.

2. Характерной особенностью этапа восстановления оксидов СО-содержащими газами является одновременное протекание процессов восстановления и карбидирования, обнаруживающееся в довольно длительном сосуществовании оксидных и углеродных фаз в объеме образца и даже отдельных зерен. При достижении определенной степени перенасыщения поверхности углеродом происходит самопроизвольное выпадение из пересыщенного раствора углерода в α-Fe фазы карбида Fe<sub>3</sub>C.

3. Карбид распадается на границе Fe<sub>3</sub>C/углерод на углерод и железо. Углерод примыкает к смежным атомам решетки графита, в то время как атомы железа двигаются к внешней поверхности графита с формированием железных групп, которые действуют как катализаторы для дальнейшего отложения углерода. Это ведет к ускоренному увеличению массы образца.

**Список литературы:** 1. Колесник Н. Ф. Механизм и кинетика термокаталитического разложения монооксида углерода в присутствии водорода [Текст] / Н. Ф. Колесник // Докл. АН УССР. Сер. А. Физ.-мат. и техн. науки. – 1987. – №1. – С. 75-78. 2. Колесник Н. Ф. Макрокинетические закономерности науглероживания катализатора при термокаталитическом разложении углеродсодержащих газов [Текст] / Н. Ф. Колесник // Докл. АН УССР. Сер. А. Физ.-мат. и техн. науки. – 1986. – №12. – С. 47-56. 3. Ростовцев С. Т. Теория металлургических процессов [Текст] / С. Т. Ростовцев. – М.: Металлургиздат, 1956. – 516 с. 4. Богданди Л., Энгель Г. Восстановление железных руд. Пер с нем. [Текст] / Л. Богданди, Г. Энгель. – М.: Металлургия, 1971. – 520 с. 5. Бондаренко Б. И. Восстановление окислов металлов в сложных газовых системах. [Текст] / Б. И. Бондаренко. – Киев: Наукова думка, 1980. – 388 с. 6. Русанов А. И. Фазовые равновесия и поверхностные явления [Текст] / А. И. Русанов. – Л.: Химия, 1967. – 152 с. 7. Bahr H. A., Jessen V. Die Kohlenoxyd Spaltung an Cobalt [Текст] / H. A. Bahr., V. Jessen // Ber. Dtsch. Chem. Ges. – 1930. – Bd. 63. – № 7. – S. 2226-2237. 8. Сторч Г., Голамбик Н., Андерсон Р. Синтез углеводорода из окиси углерода и водорода. Пер. с англ. [Текст] / Г. Сторч, Н. Голамбик, Р. Андерсон. – М.: Издательство, 1954. – 516 с. 9. Льяной В. И., Ченур С. А. Образование карбидов железа, никеля и кобальта в вакуумных конденсатах [Текст] / В. И. Льяной, С. А. Ченур // Изв. АН СССР. Металлы. – 1981. – № 5. – С. 161-162.

*Надійшла до редколегії 20.02.2013*

УДК 669.111.35:669.173.23

**Макрокинетические закономерности термокаталитического распада углеродсодержащих газов на металлах подгруппы железа. Часть 1/ А. Г. Кириченко //**

На підставі аналізу накопичених даних представлено феноменологічний опис термокаталітичного розпаду монооксиду вуглецю на металах підгрупи заліза. Представлено аналіз стадій взаємодії: відновлення, карбідкування і виділення вуглецю на каталізаторі.

**Ключові слова:** вуглець, монооксид, залізо, карбідкування, відновлення, каталізатор

Based on the analysis of accumulated data presented phenomenological description of carbon monoxide catalytic thermal decay on iron subgroup metals. The analysis stages of interaction: recovery carbidization and allocation of carbon on the catalyst..

**Keywords:** carbon monoxide, iron, carbidization, recovery, catalyst

#### УДК 519.6: 531.4

*Ю. А. РУДЯК*, канд. физ.-мат. наук, старш. викл., ТДМУ, Тернопіль;

*Г. І. ТКАЧЕНКО*, асистент, ТДМУ, Тернопіль;

*О. В. ГРИБКОВ*, асистент, ТДМУ, Тернопіль;

*Д. І. ШОСТАК*, учень 1 гімназії, Тернопіль

### **ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНИХ ЗНАЧЕНЬ ТА ВЕЛИЧИН СПІВВІДНОШЕННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОНСТАНТ ПРОЗОРИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ**

Запропоновано метод визначення абсолютних величин оптико-механічних констант прозорого діелектрика. Для реалізації методу вимірюються оптична різниця ходу променів для двох різних величин навантажень тестових пластин. Використовується оптична схема інтерферометра Маха – Цендера – Рождественського з довільним вибором контрольної пластини.

**Ключові слова:** оптико-механічна константа, поляризоване випромінювання, оптична різниця ходу, тензор діелектричної проникності.

**Вступ.** Міцність елементів машин, конструкцій, виготовлених з діелектриків залежить як від групи немеханічних факторів (температури, вологості, радіації), так і від таких механічних факторів, як вид напруженого стану, наявність концентраторів, крайового ефекту, розмірів деталі. Існуючі механічні теорії міцності дають більш стабільні результати для металів, ніж для полімерних матеріалів.

Як відомо, полімери відносяться до діелектриків, однією з основних макрофізичних характеристик яких є діелектрична проникність. Оскільки це одна з базових величин, яка інтегрально характеризує фізико-механічний комплекс параметрів діелектрика, логічно зв'язати граничний стан полімеру з граничними значеннями компонент тензора діелектричної проникності (ТДП). Такий підхід, на нашу думку, дозволить більш глибоко, в комплексі, оцінювати граничний стан полімерів, ніж існуючі чисто механічні критерії міцності. Крім того, критерій ТДП дозволить більш точно реагувати на, навіть незначні, зміни структури самого полімера, його температури, вологості оточуючого середовища, оскільки «фізична складова» у питаннях механічної міцності полімерів набагато вагоміша, ніж у випадку виробів з металів.

У фундаментальні рівняння Максвелла входять величини оптико-механічних констант діелектрика  $C_1$  та  $C_2$ . У рівняння, які визначають граничний стан діелектрика (фізико-механічного критерію ТДП) також, після певних перетворень рівнянь Максвелла, ввійде величина співвідношення  $C_1/C_2$ . В основні рівняння такого потужного експериментального методу, як поляризаційно-оптичний, входить

величина  $C = C_1 - C_2$ , яку прийнято називати коефіцієнтом оптичної чутливості. Таким чином, визначення абсолютних значень  $C_1$  та  $C_2$ , величин їх співвідношень  $C_1/C_2$ , є актуальною та необхідною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблемі дослідження напружено-деформованого стану (НДС) та граничних силових параметрів конструкцій присвячено цілий ряд досліджень [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. Це і розробка нових методів визначення НДС [4,5,6,7], модифікація класичних підходів експериментальної механіки [1,2,9], нові розробки, присвячені теоріям міцності діелектриків [6]. Відомо, що за своєю структурою полімери можна розділити на лінійні (до яких відносяться органічне скло) та сітчасті (до яких відносяться матеріали на базі епоксидних смол). Для лінійних полімерів характерний більш закономірний характер руйнування, ніж для сітчастих. Для сітчастих полімерів знаходять, як правило, статистичні залежності для деяких середніх значень [3]. Але як для лінійних, так і для сітчастих полімерів, неорганічного скла, інших діелектриків класичні механічні теорії міцності дають менш точні результати, ніж для металів. Тому значний інтерес та практичну значимість має застосування фізико-механічного критерію граничного стану діелектриків, який базується на фундаментальних рівняннях Максвелла [6]. У ці рівняння входять величини оптико-механічних констант  $C_1$  та  $C_2$ . Тому визначення їх абсолютних значень, а також величини їх співвідношення  $C_1/C_2$  є необхідною задачею для побудови фізико-механічного критерію граничного стану прозорих діелектриків.

**Мета досліджень** Розробити метод визначення абсолютних значень оптико-механічних констант  $C_1$  та  $C_2$ , також величин їх співвідношення  $C_1/C_2$  для прозорих діелектриків за даними поляризаційно-оптичних вимірювань.

**Матеріали досліджень.** Зв'язок компонента ТДП та параметрів НДС описують відомі рівняння Максвелла:

$$\begin{aligned}\chi_1 &= \chi_0 + C_1\sigma_1 + C_2(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \chi_2 &= \chi_0 + C_1\sigma_2 + C_2(\sigma_1 + \sigma_3) \\ \chi_3 &= \chi_0 + C_1\sigma_3 + C_2(\sigma_1 + \sigma_2),\end{aligned}\tag{1}$$

де  $\chi_i$  ( $i=1,2,3$ ) - головні компоненти ТДП;

$\sigma_i$  ( $i= 1,2,3$ ) – головні компоненти напружень;

$C_1, C_2$  – абсолютні оптико-механічні постійні діелектрика по напруженням.

Та Неймана (4.1):

$$\begin{aligned}\chi_1 &= \chi_0 + \psi_1 \varepsilon_1 + \psi_2(\varepsilon_2 + \varepsilon_3) \\ \chi_2 &= \chi_0 + \psi_1 \varepsilon_2 + \psi_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) \\ \chi_3 &= \chi_0 + \psi_1 \varepsilon_3 + \psi_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2),\end{aligned}$$

де  $\chi_i$  ( $i=1,2,3$ ) - головні компоненти ТДП;

$\varepsilon_i$  ( $i= 1,2,3$ ) – головні компоненти деформаційнапружень

$\psi_1, \psi_2$  – абсолютні оптико-механічні постійні діелектрика по деформаціям.

Перепишемо систему (1) у вигляді (2):

$$\begin{aligned}\chi_1 - \chi_0 &= C_1\sigma_1 + C_2(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \chi_2 - \chi_0 &= C_1\sigma_2 + C_2(\sigma_1 + \sigma_3) \\ \chi_3 - \chi_0 &= C_1\sigma_3 + C_2(\sigma_1 + \sigma_2),\end{aligned}\tag{2}$$

Розділимо праві і ліві частини рівняння системи (2) на  $C_2$ . Одержимо:

$$\begin{aligned}\frac{\chi_1 - \chi_0}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \frac{\chi_2 - \chi_0}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_2 + (\sigma_1 + \sigma_3) \\ \frac{\chi_3 - \chi_0}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_2)\end{aligned}\quad (3)$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}\chi_1 - \chi_0 &= \Delta \chi_1 \\ \chi_2 - \chi_0 &= \Delta \chi_2 \\ \chi_3 - \chi_0 &= \Delta \chi_3,\end{aligned}\quad (4)$$

Тоді система (3) прийме вигляд :

$$\begin{aligned}\frac{\Delta \chi_1}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \frac{\Delta \chi_2}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_2 + (\sigma_1 + \sigma_3) \\ \frac{\Delta \chi_3}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_2),\end{aligned}\quad (5)$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta \chi_1}{c_2} &= \sigma_{*1} \\ \frac{\Delta \chi_2}{c_2} &= \sigma_{*2} \\ \frac{\Delta \chi_3}{c_2} &= \sigma_{*3},\end{aligned}\quad (6)$$

З врахуванням (6) перепишемо систему (5) у вигляді:

$$\begin{aligned}\sigma_{*1} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\ \sigma_{*2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_2 + \sigma_1 + \sigma_3 \\ \sigma_{*3} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_3 + \sigma_1 + \sigma_2\end{aligned}\quad (7)$$

Виходячи з системи (7) сформулюємо фізико-механічний критерій (критерій ТДП) для діелектриків наступним чином: граничний стан діелектрика визначається граничною величиною відносної ( на одиницю оптичної чутливості) зміною компонент тензору діелектричної проникності.

Згідно фізико-механічного критерію ТДП руйнування полімеру буде мати місце при виконанні умови :

$$\sigma_{*i \max} = \sigma_*^0 \quad (8)$$

( $i=1,2,3$ )

де  $\sigma_*^0$  – граничне значення відносної компоненти ТДП при даних фізичних умовах (температурі, вологості навколишнього середовища, радіаційному фоні) та певних механічних факторах (вид напруженого стану , співвідношення компонент напруженого стану, масштабний фактор).



У фундаментальні рівняння Максвелла (1) входять абсолютні оптико-механічні константи діелектрика по напруженням  $C_1$  та  $C_2$ . У рівняння (7), які ми одержали шляхом перетворень з рівнянь (1) і які описують граничний стан діелектрика входить величина співвідношення оптико-механічних констант  $C_1/C_2$ , яка є досить інформативним параметром. У той же час, при моделюванні задач механіки суцільного середовища за допомогою поляризаційно-оптичного методу використовується базове рівняння-закон Вертгейма:

$$\frac{\delta}{Cd} = \sigma_1 - \sigma_2, \quad (9)$$

де  $C = C_1 - C_2$ .

У формулі (9)  $C$  – відносна оптико-механічна константа по напруженням. У фотопружності  $C$  ще називають коефіцієнтом оптичної чутливості прозорого полімера.

З вищенаведеного зрозуміло, що визначення абсолютних оптико-механічних констант  $C_1$  та  $C_2$ , їх співвідношення  $C_1/C_2$  та відносного оптико-механічного коефіцієнта  $C = C_1 - C_2$  є актуальною та необхідною задачею.

Відносний оптико-механічний коефіцієнт  $C = C_1 - C_2$  визначають на стандартних, вже давно застосованих у поляризаційно-оптичному методі таріровочних задачах по розтягу вузької пластинки або стиску диска.

Метод градієнтної фотопружності, як і метод ізодин [2,10], дозволяє визначати як абсолютні значення  $C_1$  та  $C_2$ , так і їх співвідношення  $C_1/C_2 = 1,43$ ; для полімерного матеріалу на базі епоксидно-діанової смоли холодного твердження ЕД-16  $C_1/C_2 = 1,78$ . При цьому, за даними роботи [2], має місце дисперсія величин абсолютних оптико-механічних констант  $C_1(\lambda)$  та  $C_2(\lambda)$ , де  $\lambda$ - довжина хвилі зонduючого випромінювання, але, практично, відсутня дисперсія співвідношення  $C_1/C_2(\lambda)$ .

Нами запропоновано метод визначення величин абсолютних оптико-механічних констант  $C_1$  та  $C_2$  за даними фотопружних вимірювань. Нижче наведено порядок експериментальної реалізації та відповідне теоретичне обґрунтування.

1. Збирається оптична схема інтерферометра Маха-Цендера-Рожденственського.
2. Контрольна пластинка вибирається довільно (тобто, може існувати початкова різниця ходу променів  $\delta_0$ ).
3. Вимірюється абсолютна різниця оптичного ходу променів  $\delta_1$  для поляризації світла вздовж напрямку напружень  $\sigma_1$  для визначеного навантаження  $F_1$ .
4. Вимірюється абсолютна різниця оптичного ходу променів  $\delta_1$  для поляризації світла вздовж напрямку напруження  $\delta_1$  для іншої величини навантаження  $F_1'$ .
5. Визначається величина абсолютної оптико-механічної константи  $C_1$  за приведеними нижче формулами:

$$\delta_1 = n_1 d_1 - \delta_0 = (n_0 - \Delta n_1) d_1 - \delta_0 \quad (10)$$

$$\delta_1' = (n_0 - \Delta n_1') d_1' - \delta_0 \quad (11)$$

$$\delta_1' - \delta_1 = \Delta n_1' d_1' - \Delta n_1 d_1 = C_1 d_0 \left[ \sigma_1' \left( 1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1' \right) - \sigma_1 \left( 1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1 \right) \right] \quad (12)$$

У формулах (10), (11), (12)  $\delta_0$ ,  $n_0$ ,  $d_0$ - відповідно, різниця оптичного ходу променів, абсолютний показник заломлення, товщина пластинки для початкового ненавантаженого стану;

$\delta_1, n_1, d_1$  – відповідні параметри, які відповідають навантаженню  $F_1$ ;  
 $\delta_1', n_1', d_1'$  – відповідні параметри, які відповідають навантаженню  $F_1'$ ;  
 $E, \mu$  – модуль Юнга I роду та коефіцієнт Пуассона полімера.  
 З рівняння (12) визначаємо  $C_1$ :

$$C_1 = \frac{\delta_1' - \delta_1}{d_0 \left[ \sigma_1' \left( 1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1' \right) - \sigma_1 \left( 1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1 \right) \right]}, \quad (13)$$

6. Вимірюється абсолютна різниця оптичного ходу променів  $\delta_2$  при поляризації, яка перпендикулярна ( $\perp$ ) до напрямку  $\sigma_1$  при визначеному навантаженні  $F_1$ .

7. Визначається абсолютна різниця оптичного ходу променів  $\delta_2'$  при поляризації, яка перпендикулярна ( $\perp$ ) до напрямку  $\sigma_1$  при іншому навантаженні  $F_1'$ .

8. Визначаємо величину  $C_2$  за формулою:

$$C_2 = \frac{\delta_2' - \delta_2}{d_0 \left[ \sigma_1' \left( 1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1' \right) - \sigma_1 \left( 1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1 \right) \right]}, \quad (14)$$

9. Визначаємо величину співвідношення  $C_1/C_2$ , розділивши, почленно, формули (13) на (14):

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\delta_1' - \delta_1}{\delta_2' - \delta_2}, \quad (15)$$

Якщо порівняти формули (13), (14) та (15), бачимо, що точність визначення величини співвідношення  $C_1/C_2$  значно вища, ніж значень абсолютних оптико-механічних констант  $C_1$  та  $C_2$ , оскільки у формулу (15) входять тільки чотири величини, які є, за фізичним змістом, одним параметром (ріницею оптичного ходу променів  $\delta$ ), а у формули (13) та (14) входять ще величини  $d_0$  (товщина),  $\sigma_1, \sigma_2$  – напруження,  $E$  – модуль Юнга I роду,  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

**Заключення.** Таким чином, запропонований підхід дозволяє визначити величини абсолютних оптико-механічних констант матеріалу  $C_1$  і  $C_2$ , які входять у рівняння Максвелла та величину їх співвідношення  $C_1/C_2$ , яка входить у рівняння граничного стану діелектриків за фізико-механічним критерієм ТДП (7) та відносний оптичний коефіцієнт (коефіцієнт оптичної чутливості)  $C = C_1 - C_2$ , який входить у основний закон фотопружності-закон Вертгейма (9).

**Список літератури:** 1. Александров А. Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела [Текст] / А. Я. Александров, М. Х. Ахметзянов. – М.: Наука, 1973. – 576 с. 2. Кепич Т. Ю. Влияние рефракции света на точность фотоупругих измерений в моделях, имитирующих композитные материалы / Т. Ю. Кепич, Е. П. Удалов – «Механика и физика разрушения композитных материалов и конструкций»: тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума. – Ужгород, 1988. – Т. 1. – С.31. 3. Божидарнік В. В. Механіка руйнування, міцність і довговічність неперервно армованих композитів [Текст] / В. В. Божидарнік, О. Е. Андрейків, Г. Т. Сулим: В. В. Божидарнік (заг.ред.); Луцький державний технічний університет. – Луцьк: Надстир'я, 2007. 4. Табанюхова З. М. Решение задач прочности сооружений с концентраторами методом фотоупругости : автореф. на соиск. науч. степени докт. физ.-мат. наук: спец. 01.020.04. «Механика деформируемого твердого тела» / М. В. Табанюхова – Новосибирск, 2006. – 42 с. 5. Фриштер Л. Ю. Расчетно-экспериментальный метод исследования НДС составных конструкций в зонах концентрации напряжений: автореф. дис. на соиск. науч. степени докт. физ.-мат. наук [Текст] / Л. Ю. Фриштер – Москва, 2009. – 40 с. 6. Рудяк Ю. А. Граничний стан елементів машин та конструкцій з діелектриків, коли руйнування проходить в умовах плоского напруженого стану / Ю. А. Рудяк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім..

В. Даля. – Луганськ – 2012 №14 (185), частина 2. – с. 112-115. **7.** Рудяк Ю. А. Математичне обґрунтування методу дифузного поверхневого розсіювання / Ю. А. Рудяк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012.- №6.- С.264-267. **8.** Рудяк Ю. А. Метод визначення величин коефіцієнтів інтенсивності напружень за даними вимірювання поглинання інтенсивності світла / Ю. А. Рудяк // Вісник Сумського державного університету, технічні науки.- 2012.- №4.- С.88-91. **9.** Mylnikov A. V. Investigation of glass structural elements with stress concentrators by optical method / A. V. Mylnikov, R. B. Tverdostaup, Yu. A. Rudyak Recent Advances in Experimental Mechanics // Proceedings of the 10th International conference on experimental mechanics. – Lisbon. – 18-22 July 1994, - P. 201-204. **10.** Heeker F. W. Non-rectilinear light propagation in photoelastic specimens caused by stress gradient / Presented at 1979 SESA Spring Meeting San Francisco, California, May, 1979.

*Надійшла до редакції 27.02.2013*

УДК 519.6: 531.4

**Визначення абсолютних значень та величин співвідношення оптико-механічних констант прозорих діелектриків / Ю. А. Рудяк, Г. І. Ткаченко, О. В. Грибков, Д. І. Шостак // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 150-155. – Бібліогр.: 10 назв.**

Предложен метод определения абсолютных величин оптико-механических констант прозрачного диэлектрика. Для реализации метода измеряются оптическая разность хода лучей для двух различных величин нагрузок тестовых пластин. Используется оптическая схема интерферометра Маха - Цендера - Рождественского с произвольным выбором контрольной пластины.

**Ключевые слова:** оптико-механическая константа, поляризованное излучение, оптическая разность хода, тензор диэлектрической проницаемости.

The method of determining the absolute values of optical-mechanical constants of transparent dielectric. To implement the method measured optical path difference of rays for two different values of load test plates. Using optical circuit Mach - Zehnder - Nativity of arbitrary choice of the control plate.

**Keywords:** opto-mechanical constant polarized radiation, the optical path difference, the permittivity tensor.

УДК 621.224

*І. І. ТИНЬЯНОВА*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

### **МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТЕВИХ СИСТЕМ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ГІДРОТУРБИНИ**

В роботі розглянуті питання моделювання гідродинамічних характеристик лопатевих систем, що базується на спільному використанні моделі осередненого закрученого потоку та спрощеної моделі просторового потоку в безлопатевих ділянках проточної частини. Розглядається вплив гідродинамічних характеристик лопатевих систем на формування енергетичних характеристик радіально-осьової гідротурбіни.

**Ключові слова:** радіально-осьова гідротурбіна, проточна частина, робоче колесо, гідродинамічні характеристики, геометричні та режимні параметри, енергетичні показники.

**Вступ.** Покращення енергетичних якостей гідротурбін (ГТ) в першу чергу залежить від гідродинамічних характеристик елементів проточної частини. Аналіз гідродинамічних характеристик окремих елементів проточної частини (ПЧ) дозволяє проаналізувати їхній вплив на енергетичні характеристики гідротурбіни. Результати такого аналізу є принциповою основою для вирішення великого кола питань, що виникають при проектуванні радіально-осьових (РО) гідротурбін. Це питання, які стосуються можливості підвищення максимального ККД, підвищення швидкохідності ГТ та її потужності при збереженні рівня ККД, поліпшення виду кривих ККД і потужності при відході від оптимального режиму та ін.

Моделювання гідродинамічних характеристик з урахуванням особливостей роботи елементів проточної частини дає змогу прийняти рішення які зміни та у які елементи слід внести для покращення техніко-економічних характеристик ГТ. Тому моделювання гідродинамічних характеристик окремих елементів та їх узгодження при проектуванні для удосконалення проточної частини радіально-осьової ГТ є досить актуальним завданням, рішення якого і присвячена дана робота.

Метою даної роботи – моделювання гідродинамічних характеристик лопатевих систем: напрямного апарата (НА) та робочого колеса (РК) РО ГТ.

**Матеріали й результати дослідження.** Удосконалювання ПЧ базується на досить глибокому дослідженні гідродинамічних характеристик окремих елементів і їх впливі на енергетичні характеристики ГТ. Для рішення цього завдання використовується як спрощені моделі течії, так і більш складний кінематичний опис потоку за допомогою складних моделей течії рідини [1-4].

У теорії робочого процесу використовуються різні підходи до визначення гідродинамічних характеристик лопатевих систем – залежностей, що виражають зв'язок кінематичних, енергетичних і параметрів силової взаємодії з геометричними і режимними параметрами. При дослідженні і аналізі гідродинамічних характеристик лопатевих систем (НА і РК) виявляється необхідним знання, як осереднених параметрів потоку, так і розподілу кінематичних параметрів потоку в характерних перерізах ПЧ.

Осереднені гідродинамічні характеристики описують загальні кінематичні і енергетичні властивості лопатевої системи як єдиної просторової решітки. Вони інтегрально виражають загальні закономірності обтікання і силової взаємодії просторових решіток. Загальний підхід до опису гідродинамічних характеристик

лопатевої системи базується на використанні безрозмірних параметрів, що характеризують потік у характерних перерізах ПЧ (рис. 1) [5, 6].

Розподілені гідродинамічні характеристики відображають залежність розподілу параметрів потоку в області лопатевої системи від геометричних і режимних параметрів. Знання розподілених характеристик необхідно для оцінки як енергетичних, так кавітаційних якостей лопатевої системи. При відомих розподілених характеристиках визначаються осереднені гідродинамічні характеристики лопатевої системи.

Гідродинамічні характеристики НА представляються функціональними залежностями  $\frac{\Gamma_0 D}{Q} = f(a_0)$  (кінематична характеристика) і  $k_{hНА} = f\left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}\right)$

(характеристика втрат).

Осереднені гідродинамічні характеристики ПЧ включають залежності коефіцієнта теоретичного напору

$K_{HT} = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK}\right)$  і залежності коефіцієнта

втрат  $k_h = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L\right)$  від режимних і

геометричних параметрів. Функціональні залежності мають вигляд:

$K_{HT} = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK}\right)$  і  $k_h = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L\right)$ .

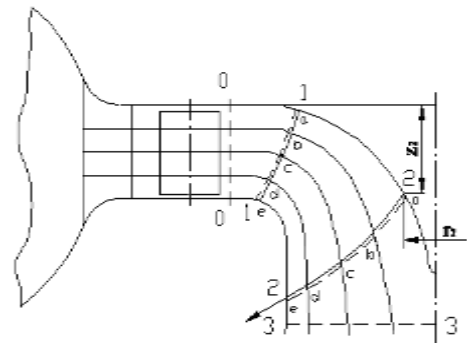


Рис. 1 – Розрахункові перерізи проточної частини радіально-осьової ГТ

Залежно від  $K_{HT}$  і  $k_h$  за допомогою основного рівняння ГТ і рівняння балансу гідравлічної енергії виражаються основні енергетичні параметри ГТ:

$$\eta_r = \frac{k_{HT} \left( \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right)}{k_{HT} \left( \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right) + k_h \left( \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L \right)}, \quad Q_i' = \sqrt{\frac{g}{k_{HT} \left( \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right) + k_h \left( \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L \right)}},$$

$$N_{\Gamma} = \gamma Q_i' \eta_r = \gamma \frac{K_{HT} \left( k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L \right)}{K_{HT} \left( k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L \right) + k_h \left( k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L \right)} \cdot \sqrt{\frac{g}{K_{HT} \left( k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L \right) + k_h \left( k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L \right)}} \quad (1)$$

За допомогою безрозмірних комплексів  $\frac{\Gamma_i D}{Q}$  і  $k_Q$ , що є аргументами у

функціональних залежностях  $K_{HT} = f_1\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK}\right)$  і  $k_h = f_2\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L\right)$

виражаються умови кінематичної і енергетичної подоби в розрахункових перерізах ПЧ (рис. 1).

Для визначення осереднених кінематичних характеристик у розрахункових перерізах ПЧ, використовуються рівняння кінематичного зв'язку просторових решіток як в абсолютному, так і відносному русі, запропоновані у роботах [7, 8]:

$$\frac{\Gamma_2 D}{Q} = k \frac{\Gamma_1 D}{Q} - (1-k)\mu + (1-k) \frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q,$$

$$\frac{\bar{\Gamma}_{2w} D}{Q} = k \frac{\bar{\Gamma}_{1w} D}{Q} + (1-k)\mu - (1-k) \left( \Lambda^2 - \frac{\bar{r}_{2R}^2 - k \bar{r}_{1R}^2}{1-k} \right) \frac{\pi}{2} k_Q \quad (2)$$

Поряд з осередненими кінематичними характеристиками, представленими залежностями (2) також необхідно розглядати розподілені кінематичних характеристик лопатевих систем, що враховують внутрішню структуру потоку.

При заданій геометрії підвідної частини  $\left(\frac{\bar{\Gamma}_{\text{сп}} D}{Q} = \text{const}\right)$  розподілені кінематичні характеристики НА виражають залежність кінематичних параметрів потоку у вихідному перерізі (перерізі 0-0) від відносного відкриття НА  $\frac{C_m}{Q_I} = f(\bar{a}_0, l)$ ,

$\frac{C_u}{Q_I} = f(\bar{a}_0, l)$ ,  $\frac{\Gamma_{0I}}{Q_I} = f(\bar{a}_0, l)$ ,  $\alpha_0 = f(\bar{a}_0, l)$ , де  $l$  – координата точки в перерізі 0-0, щодо

верхнього кільця НА;  $\bar{a}_0 = \frac{a_0}{a_{\text{max}}}$ , – відносне відкриття НА [9].

Кінематичні параметри потоку за НА, представлені в безрозмірному вигляді, не залежать від режиму роботи ГТ. При заданій геометрії підвідної частини, осереднені і розподілені кінематичні характеристики НА, залишаються незмінними при роботі турбіни з різними РК близької швидкохідності.

Для розрахунку кінематичних параметрів потоку на вхідній кромці РК можливо використання експериментальних залежностей розподілу циркуляцій від відкриття

НА  $m = \left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}\right) / \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right)$ , де  $m$  – коефіцієнт, враховуючий нерівномірність вхідної

циркуляції по висоті лопаті,  $\frac{\Gamma_0 D}{Q}$  – безрозмірний кінематичний комплекс у перерізі

за НА;  $\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}$  – осереднений кінематичний комплекс. Ці дані необхідні для

розрахунків втрат, що виникають при обтіканні вхідної кромки лопаті, і наступного узгодження вхідних елементів лопаті з параметрами потоку, формованого НА.

Експериментальні і розрахункові дослідження показують визначальну роль РК у формуванні енергетичних характеристик ГТ у діапазоні основних експлуатаційних режимів. Для визначення розподілені кінематичних параметрів використовувався наближений підхід опису просторового потоку вздовж вихідних кромки [10]. При цьому використовуються рівняння кінематичного зв'язку елементарних решіток разом з рівнянням осередненого осесиметричного руху.

Розподіл безрозмірного коефіцієнта меридіональної швидкості вздовж вихідної

кромки  $c_{2m}^* = \frac{C_{2m} D^2}{Q}$  описується диференціальним рівнянням  $\frac{dC_{2m}^*}{dl'} + M_2'(l') C_{2m}' = N_2'(l') k_Q$ ,

де  $M_2'(l')$  і  $N_2'(l')$  – безрозмірні коефіцієнти, що залежать від геометричних характеристик поверхні тока [11].

Розв'язок диференціального рівняння враховуючого зсув поверхонь тока при зміні режиму роботи ГТ має вигляд  $C_{2m}^*(l') = A_2'(l') k_Q - B_2'(l')$ , де:  $l'$  – довжина, відлічувана уздовж вихідної кромки;  $A_2'$  і  $B_2'$  – коефіцієнти, що залежать від розподілу геометричних характеристик лопаті вздовж вихідної кромки.

Залежність безрозмірного коефіцієнта циркуляції від безрозмірних геометричних і режимних параметрів описується виразом

$$\frac{\Gamma_2 D}{Q} = 2\pi \left( r_2'^2 + r_2' A_2' \text{ctg} \beta_2^* - r_2'^2 \left( \frac{r_a^2}{r_2'^2} - \frac{r_1'^2}{r_2'^2} \right) \right) k_Q - 2\pi r_2' B_2' \text{ctg} \beta_2^*$$

де  $A_2' = \frac{A_2}{D}$ ,  $B_2' = B_2 D^2$ ,  $r_2' = \frac{r_2}{D}$ .

Експериментальні дані кафедри гідромашин НТУ «ХП» про структуру потоку за РК у широкому діапазоні напорів ( $H = 100 \div 500$  м), показують, що коефіцієнт меридіональної швидкості та коефіцієнт циркуляції лінійно залежать від режимного параметра  $k_Q$  (рис. 2, 3).

Це підтверджує справедливості отриманих залежностей, що встановлюють зв'язок кінематичних характеристик за РК з його геометричними і режимними параметрами.

Характеристика гідравлічних втрат усієї ПЧ може бути представлена у вигляді [5]:

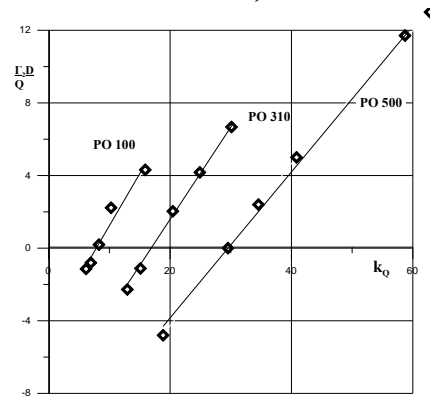


Рис. 2 – Залежність  $C_m = f(k_Q)$

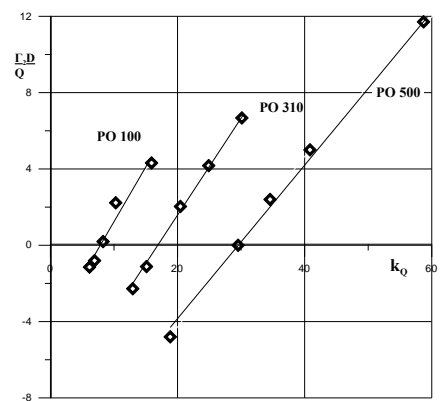


Рис. 3 – Залежність  $\frac{\Gamma_2 D}{Q} = f(k_Q)$

$$k_h = k_{\text{сп}} + k_{\text{ст}} + k_{\text{НА min}} + k_{\text{РК min}} + k_{\text{омс min}} + a \left( \frac{\Gamma_{\text{сн}} D}{Q} - \frac{\Gamma_0 D}{Q} \right)^2 + b \left( \frac{\pi}{2} K_{r1}^2 k_Q - \mu_m - \frac{\Gamma_0 D}{Q} \right)^2 + c \left( \frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q - \mu \right)^2, \quad (3)$$

де  $k_{\text{сп}}$ ,  $k_{\text{ст}}$ ,  $k_{\text{НА min}}$ ,  $k_{\text{РК min}}$ ,  $k_{\text{омс min}}$  – мінімальне значення коефіцієнта втрат, обумовлених втратами тертя на ділянках ПЧ: спіральна камера, статор, НА, РК, відсмоктуюча труба [12]. Параметри  $a$ ,  $b$  й  $c$  в (3) не залежать від режиму та розраховуються за допомогою експериментальних даних. Відповідно до [13]

наближено можна вважати:  $a = \frac{k_{\text{НА}}}{2\pi^2 K_{r1\text{HA}}^2}$ ,  $b = \frac{k_1}{2\pi^2 K_{r1}^2}$ ,  $c = \frac{k_2}{2\pi^2 K_{r2}^2}$ , где

$$K_{r1\text{HA}} = \frac{1}{Q} \int \left( \frac{r_{1\text{HA}}}{R_{\text{HA}}} \right)^2 dQ, \quad K_{r1,2} = \frac{1}{Q} \int \left( \frac{r_{1,2}}{R} \right)^2 dQ.$$

Представлена структурна залежність коефіцієнта втрат у РК від режимних і гідродинамічних параметрів просторових решіток РК, що оказує основний вплив на формування оптимального режиму і вид кривих ККД при відході від нього.

Даний підхід розрахунку і аналізу гідродинамічних характеристик елементів ПЧ базується на спільному використанні моделі осередненого закрученого потоку і спрощеної моделі просторового потоку у безлопатевих ділянках проточного тракту.

При визначенні параметрів кінематичних характеристик, характеристик силової взаємодії і характеристик втрат через геометричні та режимні параметри використовуються загальні закономірності обтікання гідродинамічних решіток. Застосування цих залежностей є доцільним як для аналізу впливу геометричних параметрів на енергетичні характеристики, так і для оптимізації гідродинамічних характеристик РК й енергетичних характеристик ГТ. Методика дозволяє проводити необхідну оцінку гідродинамічних якостей РК і енергетичних характеристик ГТ для узгодження елементів ПЧ при виборі геометричних параметрів.

Підвищення енергокавітаційних показників безпосередньо зв'язане як з удосконалюванням гідродинамічних характеристик лопатевих систем, так і з їхнім узгодженням. У роботах [14, 15, 16] приводяться результати дослідження впливу геометрії НА і РК на гідродинамічні характеристики, та аналізується вплив геометрії підводу і відводу на параметри оптимального режиму.

**Висновки:** . На основі кінематичного опису потоку, заснованого на спільному використанні інтегральних параметрів потоку в розрахункових перерізах проточної частини і моделі просторового потоку в області робочого колеса, наведені залежності для розрахунків осереднених та розподілених кінематичних характеристик робочого колеса.

Наведені залежності, що зв'язують основні параметри ГТ із гідродинамічними характеристиками лопатевих систем ПЧ. Дані залежності дозволяють установити загальні закономірності формування енергетичних характеристик у широкому діапазоні зміни напорів.

**Список літератури:** 1. *Ruprecht A. Unsteady Flow Simulation in Hydraulic Machinery.* – 2002. – Vol. 6, no 1. – P. 187-208. 2. *Thum Susanne. Optimization of Hydraulic Machinery Bladings by Multilevel CFD Techniques // International Journal of Rotating Machinery.* – 2005. – Vol. 2. – P. 161–167. 3. Численное моделирование течений в турбомашинах / *Черный С. Г., Чирков Д. В., Лапин В. Н.* [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2006. – 202 с 4. *Кочевский А. Н.* Современный подход к моделированию и расчету течений жидкости в лопастных гидромашинах / *А. Н. Кочевский, В. Г. Неня*// Вісник Сумського державного університету. – Суми, 2003. – Вип. 13(59). – С. 195–210. 5. *Колычев В. А.* Кинематические характеристики потока в лопастных гидромашинах : учеб. пособие / *Владислав Александрович Колычев.* – Киев: ИСИО, 1995. – 272 с. 6. *Колычев В. А.* Гидродинамические характеристики элементов проточной части и их влияние на энергетические показатели радиально-осевой гидротурбины / *В. А. Колычев, И. И. Тыньянова, К. А. Миронов* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2010. – № 4/7 (46). – С.3 – 15. 7. *Войташевский Д. А.* Основы общей теории гидродинамических решеток применительно к гидромашинам / *Д. А. Войташевский* // Тр. ВНИИГидромаша. – 1968. – Вып. 37. – С. 3-88. 8. *Руднев С. С.* Основы теории лопастных решеток : учеб. пособие / *Сергей Сергеевич Руднев.* – М., 1976. – 61 с. 9. *Колычев В. А.* Расчет гидродинамических характеристик направляющих аппаратов гидротурбины: Учебн. пособие. / *В. А. Колычев, В. Э. Дранковский* [и др.] –Харьков – НТУ «ХПИ». – 2002. 268 с. 10. *Колычев В. А.* Кинематические характеристики потока в лопастных гидромашинах : учеб. пособие / *Владислав Александрович Колычев.* – Киев: ИСИО, 1995. – 272 с. 11. *Этинберг И. Э.* Гидродинамика гидравлических турбин / *И. Э. Этинберг, Б. С. Раухман.* – Л. : Машиностроение, 1978. – 280 с. 12. Расчет и анализ баланса потерь энергии в высоконапорной радиально-осевой гидравлической турбине / *В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова* [и др.] // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2005. – № 1/2 (13). – С. 95–106. 13. *Колычев В. А.* О влиянии геометрических параметров проточной части на оптимальный режим радиально-осевой гидротурбины / *В. А. Колычев, В. Э. Дранковский, М. Б. Мараховский* [и др.] // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков, 1998. –№15. – С. 50–57. 14. *Колычев В. А.* Согласование элементов проточной части при проектировании радиально-осевых гидротурбин /



*В. А. Колычев, И. И. Тынъянова, К. А. Миронов // Проблемы машиностроения. – Харьков, 2009. – т. 12. – № 5 С 3-10. 15. Колычев В. А. Моделирование энергетических характеристик гидротурбин на начальном этапе проектирования/ В. А. Колычев, И. И. Тынъянова, К. А. Миронов// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харьков, 2010. – № 1/6 (43). – С. 27–38. 16. Колычев В. А. Гидродинамические характеристики элементов проточной части и их влияние на энергетические показатели радиально-осевой гидротурбины / В. А. Колычев, И. И. Тынъянова, К. А. Миронов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харьков, 2010. – № 4/7 (46). – С.3 – 15*

*Надійшла до редакції 14.02.2013*

УДК 621.224

**Моделирование гидродинамических характеристик лопастных систем радиально-осевой гидротурбины / И. И. Тынъянова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 156-161. – Бібліогр.: 16 назв.**

В работе рассмотрены вопросы моделирования гидродинамических характеристик лопастных систем, базирующиеся на совместном использовании модели осредненного закрученного потока и упрощенной модели пространственного потока в безлопастных участках проточного тракта. Рассматривается их влияния на формирование энергетических характеристик радиально-осевой гидротурбины.

**Ключевые слова:** радиально-осевая гидротурбина, проточная часть, рабочее колесо, гидродинамические характеристики.

Worked out methodology of calculation and analysis of hydrodynamic characteristics of the blade systems, that allows estimating the hydrodynamic internals of the blade system of runners in the process of her profiling. Analytical dependences, which set influence of geometrical and regime parameters of runners on distribution of parameters of stream after a runners, what necessary for an analysis concordances of runners with taking of hydroturbine, are got.

**Keywords:** Francis turbine, flow space, runner, hydrodynamic characteristics, geometrical and regime parameters.

УДК 621.313

*А. А. ДУНЕВ, ассистент, НТУ «ХПІ»*

### **АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MAXWELL 3D, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДВИГАТЕЛЕ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ**

Проведен анализ алгоритма работы статического модуля программного пакета Maxwell 3D, позволяющего решать задачи визуализации магнитных полей в трехмерных электромеханических объектах, применительно для двигателя с катящимся ротором.

**Ключевые слова:** двигатель с катящимся ротором, система уравнений Максвелла, сеточная структура, магнитостатический решатель, граничные условия.

#### **Введение**

Во всех известных методиках расчета магнитного поля двигателя с катящимся ротором (ДКР) основная часть анализа базируется на аналитическом подходе к решаемой проблеме, что влечет за собой ряд допущений и неточностей, которые отражают свой характер на конечном результате расчета [1], что является недостатком существующих методик. Поэтому для более детального и точного расчета магнитных полей в ДКР было принято решение использовать численный метод расчета, который дает возможность более качественно оценить существующие процессы, в двумерном и трехмерном виде, протекающие в ДКР при работе.

© А. А. ДУНЕВ, 2013

Так же, следует отметить и тот факт, что в последние годы в связи с потребностями фундаментальной науки и ее практических приложений алгоритмы численного решения уравнений Максвелла стали все чаще применяться в областях сложной формы. Эти алгоритмы, основанные на использовании методов конечных объемов или конечных элементов [2], широко применяются на текущий момент в таких прикладных программах как FEMM, Maxwell и ANSYS. Последние два инструмента хорошо справляются с задачами трехмерного моделирования и расчета электромагнитных процессов, протекаемых в ДКР.

### Цель работы

Целью работы является анализ работы магнитоэлектростатического решателя программного пакета Maxwell 3D и применение полученных знаний для расчета статического магнитного поля в ДКР.

### Материал исследования

В целом магнитное поле, которое представляется на основе законов электромагнетизма, объединенных в единую систему Максвеллом, может быть описано следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} ; \\ \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \operatorname{rot} \vec{E} &= 0 ; \\ \operatorname{div} \vec{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0} ; \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E$  - вектор напряженности электрического поля;

$B$  - вектор магнитной индукции;

$J$  – плотность токов проводимости;

$\rho$  – плотность зарядов в области;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;

$\mu_0$  – магнитная постоянная, причем константы удовлетворяют соотношению  $\varepsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$ .

Плотности тока и заряда в этих уравнениях считаются заданными функциями координат и времени.

При реализации таких алгоритмов возникает принципиальная трудность, связанная с нарушением дискретного аналога соотношения (1). Это обусловлено тем, что плотности заряда  $\rho$  и тока  $J$  вычисляются по алгоритмам, не зависящим от уравнений Максвелла и друг от друга.

Для реализации расчета магнитного поля ДКР была выбрана программа Maxwell 3D 11v., обладающая интуитивно понятным интерфейсом, достаточным числом функций и хорошей сходимостью расчета.

Применение прикладных программ типа Maxwell 3D, использующих метод конечных элементов на базе решения системы уравнения Максвелла, представляет сложную трехмерную математическую задачу, решение которой не возможно без применения ЭВМ.

Процесс построения и измельчения расчетной сетки, которая накладывается

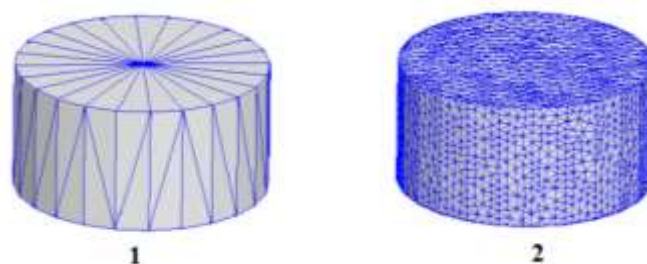


Рис. 1 - Измельчение расчетной сетки для повышения точности расчета

на модель, занимает некоторое время, сходимость расчета для модели 1 происходит быстрее, чем для модели 2 (рис.1). Качество расчета параметров магнитного поля зависит от количества узлов в сетке, соответственно, модель 2 с большим числом ячеек будет иметь результат максимально точно приближенный к действительности [3].

Время, затраченное на расчет такого количества уравнения и качество этого расчета, – это связанные величины, найти «золотую середину» между которыми, достаточно сложная аналитическая.

Для анализа магнитного поля для конкретного промежутка времени был выбран тип задач – «магнитостатика», в котором поле, созданное обмоткой статора, имело статический неподвижный характер, что, в свою очередь, давало возможно очень качественно оценить полученные данные для отдельно взятого промежутка времени работы машины. задача.

В ходе выполнения поставленной задачи магнитостатического процесса был выбран необходимый тип полевого решателя, алгоритм расчета которого приведен ниже (рис.3).

Расчет магнитной индукции и трехмерная картины магнитного поля ДКР в Maxwell 3D сводится к решению магнитостатической полевой задачи [4], магнитное поле в которой создано постоянными магнитами либо постоянными токами, протекающими в катушках.

На практике в полной мере или одновременно решить всю систему уравнений Максвелла оказывается достаточно сложно, а с применением ЭВМ – занимает немало времени. Поэтому для упрощения расчета единое электромагнитное поле от источников тока в конкретных случаях принято представлять в виде частных случаев). Полей, при этом остается та часть процесса и те параметры, которые оказываются влиятельными, т.е. определяют характер, пространственное распределение и величину поля. А маловлияющими факторами пренебрегают.

Поэтому, так как электромагнитные процессы, рассматриваемые при помощи

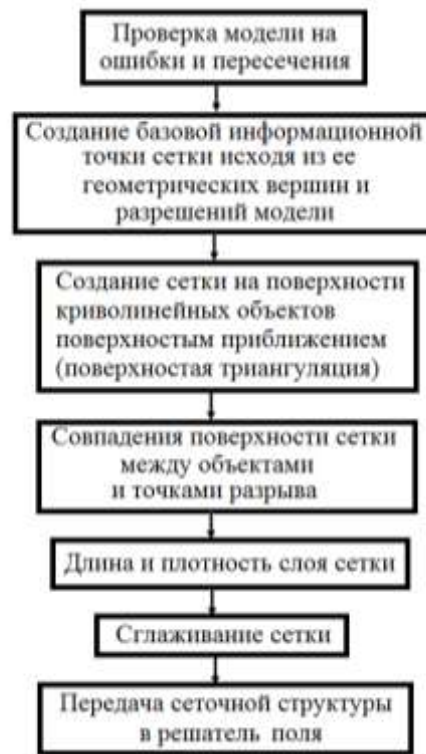


Рис. 2 - Алгоритм создания сеточной структуры для расчета модели в Maxwell 3D



Рис. 3 - Алгоритм статической задачи полевого решателя в Maxwell 3D

Maxwell 3D для ДКР, как и предполагается, имеют статический характер и не меняются во времени, следовательно, потерями на вихревые токи можно пренебречь.

В соответствии с заданными магнитными свойствами материалов ДКР распространение магнитного поля зависит от пространственного распределения магнитной проницаемости.

Решение рассматриваемой полевой задачи определяется следующими двумя уравнениями Максвелла:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J};$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0;$$

кроме того, используется следующая важная зависимость:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} + \mu \cdot \vec{M}_p,$$

где:

$\vec{H}(x, y, z)$  – напряженность магнитного поля;

$\vec{B}(x, y, z)$  – магнитная индукция магнитного поля;

$\vec{J}(x, y, z)$  – плотность тока проводимости;

$M_p(x, y, z)$  – постоянное намагничивание (намагниченность насыщения ферромагнитного материала);

$M(x, y, z)$  – магнитный момент единицы объёма вещества

$$M = \frac{m}{V},$$

где  $m$  – вектор магнитного момента,  $V$  – объем;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнитная проницаемость вакуума

$\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость.

Для нелинейных материалов зависимость между  $H$  и  $B$  поля является нелинейной и может быть изотропной или ортотропной (в случае анизотропного поведения  $\mu_r$  – это тензор). Также в реальных случаях нелинейность может встречаться и учитываться и в постоянных магнитах. Кроме того, если состояние намагниченности рассматривается для (нелинейных) постоянных магнитов, работающих ниже перегиба, Maxwell 3D предусматривает расширенные опции, позволяющие получить решение, основанное на ранее вычисленной рабочей точке намагниченности. Если нелинейность встречается в магнитомягких материалах (с незначительным гистерезисом) одновременно с ортотропным поведением, для Maxwell 3D требуется, чтобы были заданы кривые  $B(H)$  по координатам в соответствующих материалах. Из этих кривых зависимость энергии от  $H$  берется по каждой из координат и используется в процессе получения нелинейного тензора проницаемости, используемого в итерационном процессе решения Ньютона-Рафсона:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + [\hat{\mu}] \cdot (\vec{H} - \vec{H}_0),$$

$$[\hat{\mu}] = \frac{\partial}{\partial \vec{H}} \vec{B} = [\Delta \hat{\mu}] + [\mu],$$

где:  $\vec{B}_0$  и  $\vec{H}_0$  – предыдущее полевое решение,  $[\Delta \hat{\mu}]$  – общий полный тензор, для  $[\mu]$  присвоено следующее:

$$[\mu] = \begin{bmatrix} \mu_x & & \\ & \mu_y & \\ & & \mu_z \end{bmatrix}$$

где  $\mu_x$ ,  $\mu_y$ ,  $\mu_z$  – учитывают анизотропные эффекты любых слоистостей материала, имеющих в модели.

В целом трехмерный магнитостатический решатель Maxwell 3D (или, так называемый, – «solver») рассматривает магнитное поле  $\vec{H}$  со следующими компонентами:

$$\vec{H} = \vec{H}_p + \nabla\phi + \vec{H}_c$$

где  $\phi$  – магнитный скалярный потенциал,  $\vec{H}_p$  – частное решение, полученное присвоением всем граням расчетной сетки значений, определяемых законом полного тока для всех контуров всех поверхностей тетраэдров в сетке, и  $\vec{H}_c$  – создано постоянными магнитами. Таким образом, переменные расчета – это узловые величины магнитного скалярного потенциала (десять величин в одном четырехграннике - в каждой из четырех вершин и во всех шести серединах узловых ребер), при этом должна обеспечиваться квадратичная аппроксимация внутри каждого конечного элемента (рис. 4).

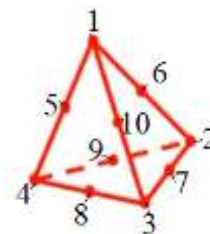


Рис. 4 - Узловые расчетные точки элемента расчетной сетки (тетраэдра)

У этой формулировки есть большие преимущества перед возможными другими, в частности использование значительно меньшего количества вычислительных ресурсов (из-за скалярной сущности переменных).

Магнитостатический решатель обрабатывает линейные и нелинейные трехмерные задачи. В нашем случае для нелинейных задач, в связи с нелинейностью кривой намагничивания  $B(H)$ , используется классический итерационный алгоритм Ньютона-Рафсона с управляемой пользователем точностью. Типичные граничные условия, используемые в магнитостатических задачах, - это тангенциальность магнитного поля (по умолчанию - естественное граничное условие, которое автоматически применяется ко всем поверхностям области решения, т.е. к поверхностям объекта геометрии, содержащего внутри всю модель). Это граничное условие по умолчанию может быть изменено, если ко внешним поверхностям пространства решения применены другие граничные условия. В нашем случае, для расчета параметров магнитного поля модели ДКР, граничные условия были приняты по умолчанию.

Эти условия ограничивают магнитное поле в пространстве решения, поэтому эта граница расчета должна быть отнесена на некоторое расстояние от источников, чтобы избежать сверхограниченности области при размещении границы близко к объектам модели. Несмотря на то, что трудно найти критерий универсальной обоснованности относительно размещения границ задачи, но, опираясь на хорошее эмпирическое правило, можно сказать, что если модель может быть представлена находящейся внутри сферы радиуса  $R$ , то границы могут быть размещены в 4-5 радиусах  $R$  от воображаемого центра модели.

В целом алгоритм работы Maxwell 3D 11 v. выглядит следующим образом (рис. 5) [5].

Существует так же граничные условия «Симметрии» («Symmetry»), которые созданы для решения задач с симметрией и позволяют располагать значительно меньшим размером задачи для необходимой точности, но их применением мы заниматься не будем, т.к. расчетная модель ДКР имеет достаточно сложный, эксцентрический характер.



Рис. 5 - Общий алгоритм работы программы для магнитостатического типа задач

### Результаты исследований

Анализ магнитостатической методики расчета и применение рассмотренного алгоритма для конкретной задачи расчета магнитных полей в Maxwell 3D, позволяет

создать трехмерную модель двигателя с катящимся ротором, верно задать расчетную сетку, материалы, граничные условия и параметры магнитной системы, что бы в конечном итоге, получить картину распределения магнитного поля с целью ее дальнейшего анализа и улучшения параметров двигателя.

Пример полученного результата численного анализа магнитного поля в Maxwell 3D для шести-пазового ДКР показан на рис.6.

### Выводы

В ходе проведенных исследований, анализа работы решателя и эффективного его применения для численного расчета и оценки магнитостатического поля в ДКР можно судить о эффективном применении Maxwell 3D для анализа трехмерных полевых задач любой сложности.

**Список литературы:** 1. Шурина, Э. П. Об алгоритмах решения уравнений максвелла на неструктурированных сетках [Текст] / Шурина Э. П., Великая М. Ю., Федорук М. П. // Институт вычислительных технологий СО РАН Новосибирск. 2000 г. - Том 5, №6. - с. 99-116. 2. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы [Текст] / Р. Галлагер // Издательство «Мир», г. Москва. - 1984 г. 3. Рояк, М. Э. Сеточные методы решения краевых задач математической физики: Учеб.пособие. [Текст] / М.Э. Рояк, Ю.Г. Соловейчик, Э.П. Шурина // Изд-во НГТУ, Новосибирск. - 1998 г. 4. Assous F. On a finite-element method for solving the three-dimensional Maxwell equations [Текст] / Assous F., Degond P., Heitze E., Raviart P.A., Segre J. // J.Comp.Phys. - 1993.. - V. 109. - p. 222–237. 5. Maxwell 3D 11v. User Manual, режим доступа: [http://narod.ru/disk/9840402000/Maxwell\\_3D\\_v11\\_full\\_book.pdf.html](http://narod.ru/disk/9840402000/Maxwell_3D_v11_full_book.pdf.html).

Надійшла до редколегії 28.02.2013

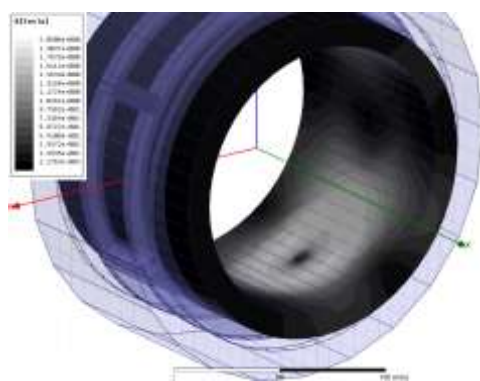


Рис.6 - Визуализация распределения магнитного поля в роторе ДКР, рассчитанного через магнитостатический решатель в Maxwell 3D

УДК 621.313

**Алгоритм работы программного пакета MAXWELL 3D, применяемого для численного анализа магнитного поля в двигателе с катящимся ротором/ А. А. Дунев//** Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 161-167. – Бібліогр.: 5назв.

Проведено аналіз алгоритму роботи статичного модулю програмного пакету Maxwell 3D, що дозволяє вирішувати завдання візуалізації магнітних полів в тривимірних електромеханічних об'єктах, стосовно двигуна з ротором, що котиться.

**Ключові слова:** двигун з ротором, що котиться, система рівнянь Максвелла, сіточна структура, магністатичний вирішувач, граничні умови.

The analysis of the algorithm of the static module software package Maxwell 3D, which allows to solve problems of visualization of magnetic fields in three-dimensional electromechanical objects in relation to the engine with rolling rotor.

**Keywords:** motor with the rolling rotor, system of the Maxwell equations, grid structure, magnetostatic solver, boundary conditions.

**УДК 537.84**

**А. Ю. ПЕДЧЕНКО**, магістр, НТУУ «КП», Київ

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ У ВИСОКОЧАСТОТНОМУ ІНДУКЦІЙНОМУ ПЛАЗМОТРОНІ**

Розроблено математичну модель магнітогідродинамічного та теплового стану ВЧІ-плазмотрона для моделювання процесу сфероїдизації кварцових гранул. Досліджено вплив зміни частоти та сили струму, витрат плазموутворюючого газу на поля індукованого поля у плазмі, на розподіл полів температури та швидкості в ВЧІ-плазмотроні без та при врахуванні радіаційної складової теплообміну.

**Ключові слова:** ВЧІ-плазмотрон, магнітогідродинамічний та тепловий стан, частота, густина електричного струму, температура, швидкість потоку плазми.

### **Постановка проблеми**

Математична постановка задачі, про яку йде мова в статті, належить до фізики нерівноважної плазми.

Первинною задачею при моделюванні різноманітних високочастотних індукційних процесів, що виникають у плазмі є перш за все знаходження параметрів електромагнітного поля, які діють на робоче середовище, а саме – напруженості електричного поля або густини електричного струму, що визначають джоулеву теплоту у плазмі. А вже на базі отриманих даних можна визначити вторинні процеси та їх фізичні поля – тепло-гідродинамічний стан системи.

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Проблемі досліджень фізичних процесів, що виникають у ВЧІ-плазмотронах, присвячена велика кількість експериментальних робіт, а теоретичним дослідженням – обмежена кількість наукових робіт. При цьому отримання достовірних експериментальних даних стримується надвисокими температурами плазми (понад 3000 °С), агресивністю середовища, чутливістю газового розряду до оточуючих тіл та ін. В той час як теоретичні методи дослідження не стримується екстремальними властивостями високотемпературної плазми і, тому за допомогою обчислювального експерименту можуть дати вагомий результат в дослідженнях нерівноважної плазми.

Вивченню властивостей безелектродних високочастотних розрядів присвячена робота Штрауса [1]. Автор якої досліджує вплив різних газів на запалення

© А. Ю. ПЕДЧЕНКО, 2013

безелектродного розряду. В якості експериментаних газів використані інертні гази (He, Ar, Ne, Kr, Xe), молекулярні гази  $N_2$  та  $O_2$  і пара ртуті та йоду. В роботі досліджено залежність потенціалу запалення безелектродного розряду від тиску газу в розрядній камері плазмотрона.

В роботі Кабанна [2] приводяться фізичні дослідження, де автор використав комплексну змінну провідності, електронну температуру та інтегральне випромінювання безелектродного індукційного розряду в інертних газах. Для визначення провідності розряду була прийнята модель, відповідно до якої розряд розглядався як суцільний циліндр, який нагрівався в індукторі з постійною провідністю.

У роботі [3] представлено результати числового аналізу різних конструкцій ВЧІ-плазмотронів та умов їх експлуатації, зокрема, досліджено різні конфігурації індуктора: спіральна, плоска, еліптична та двоступенева. Отримані результати числових експериментів показали, що просторові ефекти, які виникають у ВЧІ-плазмотронах, залежать головним чином від форми соленоїда та відіграють важливу роль при фізичному описанні газорозрядних процесів.

В статті [4] сформульована математична модель процесу сфероїдизації частинок кварцу в ВЧІ-плазмотроні на основі системи рівнянь Ейлера і Максвелла з урахуванням  $k-\varepsilon$  турбулентності. За допомогою розробленої числової моделі для розрахунків фізичних полів процесу сфероїдизації частинок кварцу в ВЧІ-плазмотроні визначено режимні параметри експлуатації, при яких теоретичні питомі витрати електроенергії (без урахування втрат у перетворювачі й індукторі) менше за 3000 кВт·год./т. Визначено, що рівень температур, який досягається в плазмотроні, є достатнім для часткового плавлення і випаровування кварцових гранул, тому що  $T_{\max} = 8250 \text{ K} > T_{\text{boil}} = 2503 \text{ K}$ .

#### **Формулювання цілей статті**

*Метою роботи* є розробка числової моделі магнітогідродинамічного та теплового стану ВЧІ-плазмотрона та дослідження за її допомогою параметрів індукваного струму та тепло-гідродинамічних характеристик плазми при зміні електричних параметрів індуктора та витрат плазмоутворюючого газу.

#### **Фізична та математична моделі магнітогідродинамічного та теплового стану ВЧІ-плазмотрона**

Конструкція атмосферного повітряного ВЧІ-плазмотрона представлена на рис. 1 і складається з кварцової трубки 2, в яку з нормальною швидкістю  $V$  подається плазмоутворюючий газ – повітря. Навколо трубки розташовано спіральний індуктор 3, по якому тече змінний струм з силою струму  $I$  та частотою  $\omega$ . Вся конструкція плазмотрона при цьому знаходиться у середовищі повітря 4.

Припущення фізичної моделі ВЧІ-плазмотрона:

- потік плазмоутворюючого газу, кварцових гранул та плазми є однофазним, стаціонарним, постійним та ламінарним;
- середовище плазми є рідиною, що стискається;
- фізичні властивості середовищ залежать від температури;

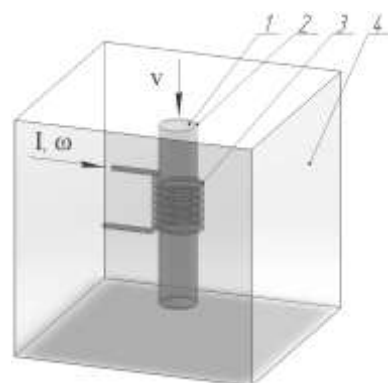


Рис. 1 - Модель ВЧІ-плазмотрона: 1 – плазмоутворюючий газ; 2 – кварцова трубка; 3 – ВЧІ-індуктор; 4 – оточуюче середовище (повітря)



- плазма вважається прозорим теплопровідним середовищем та знаходиться в локальній термодинамічній рівновазі;
- внутрішня поверхня газорозрядної камери плазмотрону є непрозорою та дифузно-відбивальною;
- струми зміщення не враховуються;
- дисипація енергії за рахунок в'язкості рідини нехтується;
- індуктор замість спіралі спрощено до форми тороїдальних кілець.

У відповідності до прийнятих припущень фізичної моделі математична модель магнітогідродинамічного та теплового стану ВЧІ-плазмотрона описується системою таких рівнянь: нерозривності, Нав'є-Стокса, Максвела у векторно-потенціальній формі та енергії

$$\begin{cases} \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0; \\ \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \left[ \mu (\nabla \mathbf{v} + \nabla \mathbf{v}^T) - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot (\mathbf{v} \mathbf{I}) \right] + \rho \mathbf{g} + \mathbf{j} \times \mathbf{B}; \\ \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j}; \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0; \\ \nabla^2 \mathbf{A} - i\omega \mu_0 \sigma(T) \mathbf{A} + \mu_0 \mathbf{j}_{\text{coil}} = 0; \\ \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} h) = \nabla \cdot (\lambda(T) \nabla T) + q_{v\_ind} - Q_{rad}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\nabla$  – оператор Гамільтона,  $\text{м}^{-1}$ ;  $\rho$  – густина середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\mathbf{v}$  – вектор швидкості,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\mathbf{I}$  – одиничний тензор другого рангу;  $p$  – тиск, Па;  $\mu$  – в'язкість, Па·с;  $\mathbf{g}$  – вектор прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\mathbf{j}$  – вектор густини електричного струму,  $\text{А}/\text{м}^2$ ;  $\mathbf{B}$  – вектор магнітної індукції, Тл;  $\mathbf{H}$  – вектор напруженості магнітного поля, А/м;  $\mathbf{A}$  – векторний потенціал електромагнітного поля, Вб/м;  $\omega$  – частота,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\mu_0$  – магнітна проникність вакууму, Гн/м; індекс coil – відноситься до індуктора;  $\sigma$  – електропровідність,  $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ ;  $h = \int_0^T c_p(T) dT$  – масова ентальпія, Дж/кг;  $c_p$  – масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К);  $\lambda$  – теплопровідність, Вт/(м·К);  $T$  – абсолютна температура, К;  $q_{v\_ind} = \frac{\mathbf{j} \cdot \mathbf{j}}{\sigma(T)}$  – джоулева теплота у плазмі за рахунок індукованого струму, Вт/м<sup>3</sup>;  $Q_{rad} = \nabla \cdot \mathbf{q}_{rad}$  – дивергенція вектора радіаційного потоку, Вт/м<sup>3</sup>.

Граничні умови:

- на вході в плазмотрон

$$\begin{cases} G_{in} = \rho f_{in} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}); \\ T_{in} = T_1, \end{cases} \quad (2)$$

де  $G_{in}$  – витрата плазмоутворюючого газу, кг/с;  $f_{in}$  – площа поперечного перерізу плазмотрона, м<sup>2</sup>;  $\mathbf{n}$  – нормаль до  $f_{in}$ ;

- на виході з плазмотрона

$$\begin{cases} \nabla p = 0; \\ \nabla T = 0; \end{cases} \quad (3)$$

- на внутрішній поверхні газорозрядної камери плазмотрона

$$\begin{cases} \mathbf{v} = 0; \\ \mathbf{n} \cdot \mathbf{q}_\Sigma = \alpha_{\text{ef}} (T - T_{\text{env.sp.}}), \end{cases} \quad (4)$$

де  $\mathbf{q}_\Sigma$  – сумарний тепловий потік, який враховує конвекційну та радіаційну складові, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha_{\text{ef}}$  – ефективний коефіцієнт тепловіддачі, в якому враховується конвективна та радіаційна складові, Вт/(м<sup>2</sup>·К)  $T_{\text{env.sp}}$  – температура навколишнього середовища, К;

– на перерізі соленоїда індуктора

$$\begin{cases} \mathbf{n} \cdot \mathbf{j}_{\text{coil}} = j_{\text{coil}}; \\ \omega = 2\pi f; \end{cases} \quad (5)$$

– на периферії повітряного об'єму, в якому розміщено плазмотрон

$$\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{A} = 0. \quad (6)$$

### Методика проведення числових експериментів

Математичне формулювання задачі магнітогідродинаміки та теплового стану плазмотрона (1)–(6) є значно складним для його числової реалізації навіть при застосуванні спеціалізованих програмних продуктів. Тому в роботі було прийнято рішення про розщеплення вихідної задачі на дві більш прості: першу – електромагнітну та другу – тепло-гідродинамічну. Алгоритм розв'язання тепер полягає в тому, що із розв'язку першої задачі отримуємо розподіл внутрішнього джерела теплоти в газорозрядній камері плазмотрону, що пов'язане з циркуляцією індукованого струму у плазмоутворюючому газі (джоулева теплота). Отриманий розподіл джерела теплоти є основою при розв'язанні тепло-гідродинамічної задачі. Зворотний зв'язок між розв'язками другої та першої задач є розподіл температурного поля у газорозрядній камері, від якого залежать електромагнітні властивості матеріалів та середовищ плазмотрона.

Для числової реалізації сформульованої задачі використовувалися програмні продукти ANSYS, зокрема, MAXWELL і FLUENT. У програмному пакеті MAXWELL розраховувалася електромагнітна задача та обчислювався розподіл омичних втрат індукованого струму у плазмоутворюючому газі. Данні отриманих результатів надалі використовувалися для розв'язання тепло-гідродинамічної задачі у пакеті CFD FLUENT.

Для передачі даних з розподілу джоулевої теплоти з MAXWELL у FLUENT застосовувалася апроксимація  $q_{v\_ind}(r)$  з використанням полінома 6-го ступеня за допомогою спеціально написаного UDF-файла на мові програмування C, де  $r$  – радіус газорозрядної камери плазмотрону

$$q_{v\_ind}(r) = \sum_{i=0}^6 a_i r^i. \quad (7)$$

Числові експерименти показали, що коефіцієнт детермінації залежності (7) становить 0.96. Для передачі розподілу температур з FLUENT у MAXWELL використовувалися програмні засоби ANSYS.

### Вихідні дані

Вихідні дані для побудови числових моделей включають: твердотільну модель плазмотрона; фізичні властивості матеріалів та середовищ; граничні умови. Побудова твердотільної моделі плазмотрона виконувалася на підставі креслень приведених у [2]. Фізичні властивості матеріалів та середовищ ВЧІ-плазмотрона бралися зі

стандартних бібліотек FLUENTA та MAXWELLA, властивості плазми бралися з [2,5,6] і наведені в табл.

Таблиця - Властивості плазми

Температура, К	$\geq 1000$	2000	4000	6000	8000	$10000 \leq$
Електропровідність, $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$	700	700	1000	1100	1246	3867
Відносна магнітна проникність	1					
Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	0,239					
Динамічна в'язкість $(\times 10^{-4})$ , Па·с	0,4	0,7	1,2	1,8	2,4	2,8
Теплопровідність, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	0,07	0,12	0,74	2,07	1,75	1,44
Питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	129	139	159	473	388	277

Граничні умови при проведенні параметричних розрахунків ВЧІ-плазмотрона варіювалися у таких межах:

- частота струму індуктора – 5; 10; 15; 20; 25 МГц при постійній силі струму 200 А;
- сила струму – 50; 100; 150; 200; 250 А при постійній частоті 20 МГц;
- швидкість та температура плазмоутворюючого газу – 0.5; 1; 2 м/с, 400 °С;
- наявність або відсутність радіаційної складової теплообміну.

### Результати числового аналізу

Результати параметричних розрахунків магнітогідродинаміки та теплового стану ВЧІ-плазмотрона представлено на рис. 2–7. Аналіз отриманих даних числового моделювання у ВЧІ-плазмотроні показав, що:

– при зростанні частоти струму на індукторі профіль індукваного струму в камері плазмотрона змінюється з V-подібного на W-подібний (рис. 2);

сила індукваного струму в плазмі прямопропорційна частоті та силі струму на індукторі. При підвищенні частоти та сили струму в 5 разів сила індукваного струму в плазмі і джоулева теплота, відповідно теж зростають в 5 разів (рис. 2–5);

– величина джоулевої теплоти в камері плазмотрона монотонно збільшується зі зростанням її радіусу і набуває максимального майже незмінного значення в периферійній частині газорозрядної камери (на відстані приблизно 1,5 мм від стінки, рис. 3, 5);

– зміна швидкості плазмоутворюючого газу на вході в камеру впливає на розподіл температури та швидкості плазми в поперечному перерізі плазмотрона (рис.

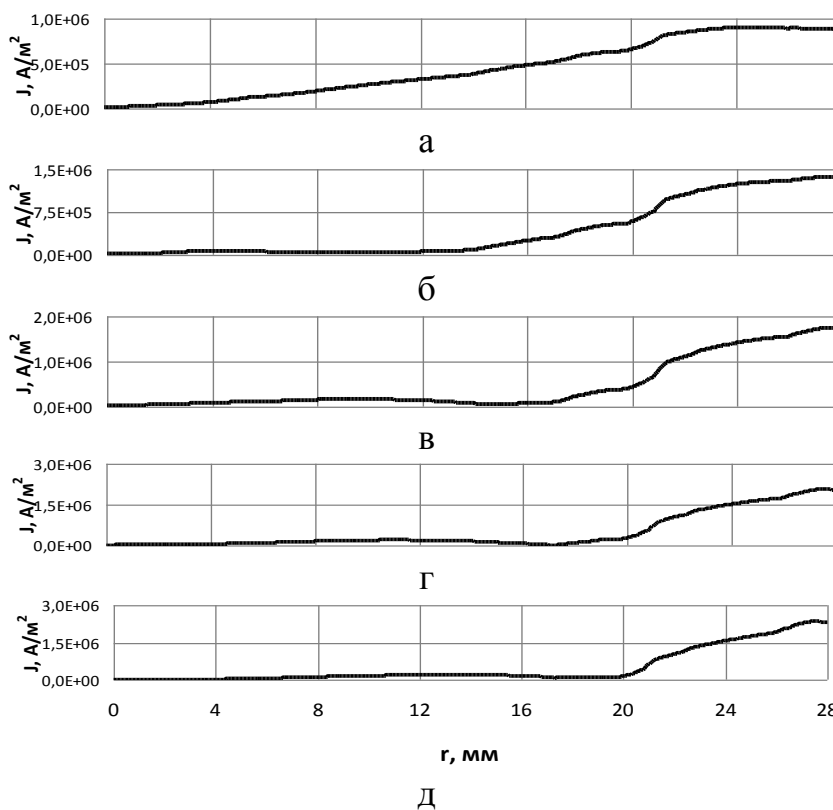


Рис. 2 - Зміна густини індукваного струму, що виникає в плазмі при величині сили струму на індукторі  $I=200$  А: а –  $f=5$  МГц; б –  $f=10$  МГц; в –  $f=15$  МГц; г –  $f=20$  МГц; д –  $f=25$  МГц

б). Збільшення швидкості у 4 рази призводить до незначного зменшення температури плазми у 1,07 (рис. 6б);

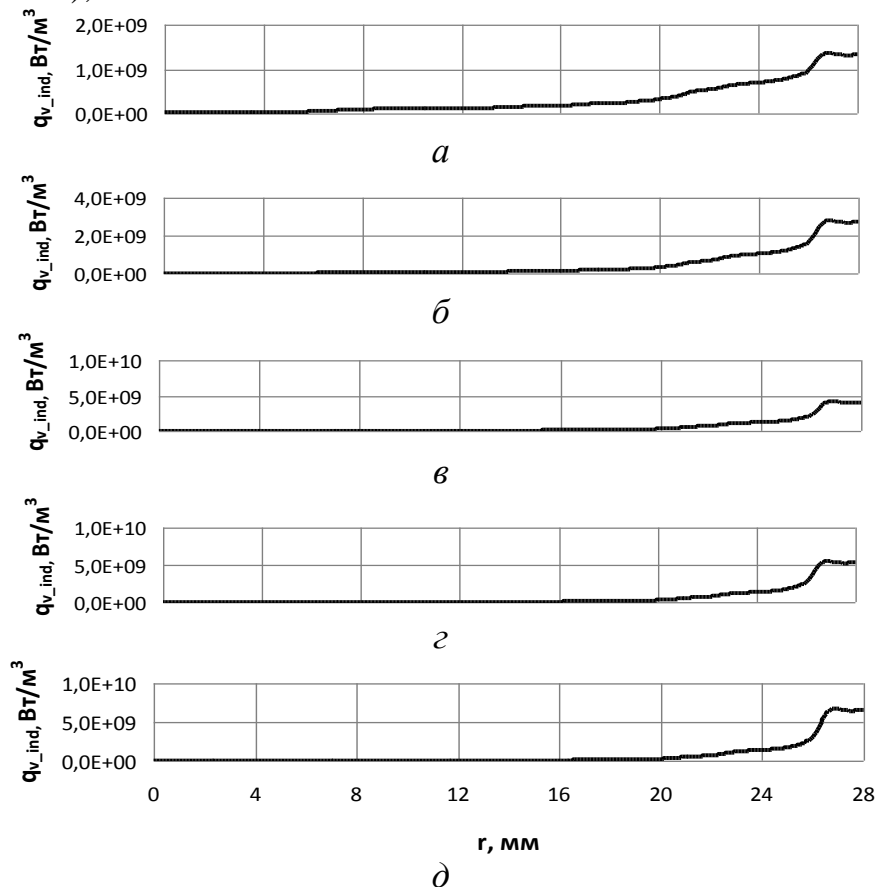


Рис. 3 - Зміна величини джоулевої теплоти, що виникає в плазмі при величині сили струму на індукторі  $I=200$  А: *a* –  $f=5$  МГц; *б* –  $f=10$  МГц; *в* –  $f=15$  МГц; *г* –  $f=20$  МГц; *д* –  $f=25$  МГц

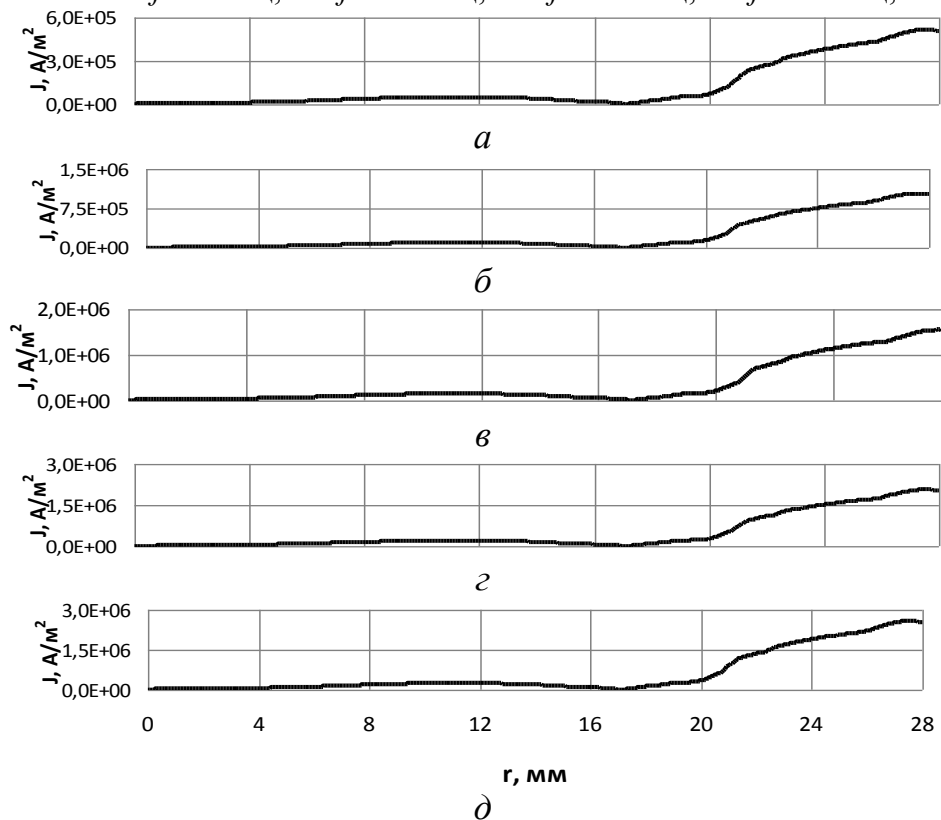


Рис. 4 - Зміна густини індукованого струму, що виникає в плазмі при частоті струму на індукторі  $f=20$  МГц: *a* –  $I=50$  А; *б* –  $I=100$  А; *в* –  $I=150$  А; *г* –  $I=200$  А; *д* –  $I=250$  А

– показано, що рівень температур, який досягається в ВЧІ-плазмотроні при частоті 20 МГц, є достатнім для часткового плавлення і випаровування кварцових гранул, тому що максимальна температура у ядрі плазми перевищує температуру плавлення кварцу (2503 К) при всіх значеннях сили струму (50–250 А) (рис. 7а);

– при числовому аналізі стану плазмотрона обов'язково треба враховувати радіаційну складову теплообміну. В протилежному випадку розрахункова температура плазми може сягати завищених значень (більш ніж у 5 разів, рис. 7б).

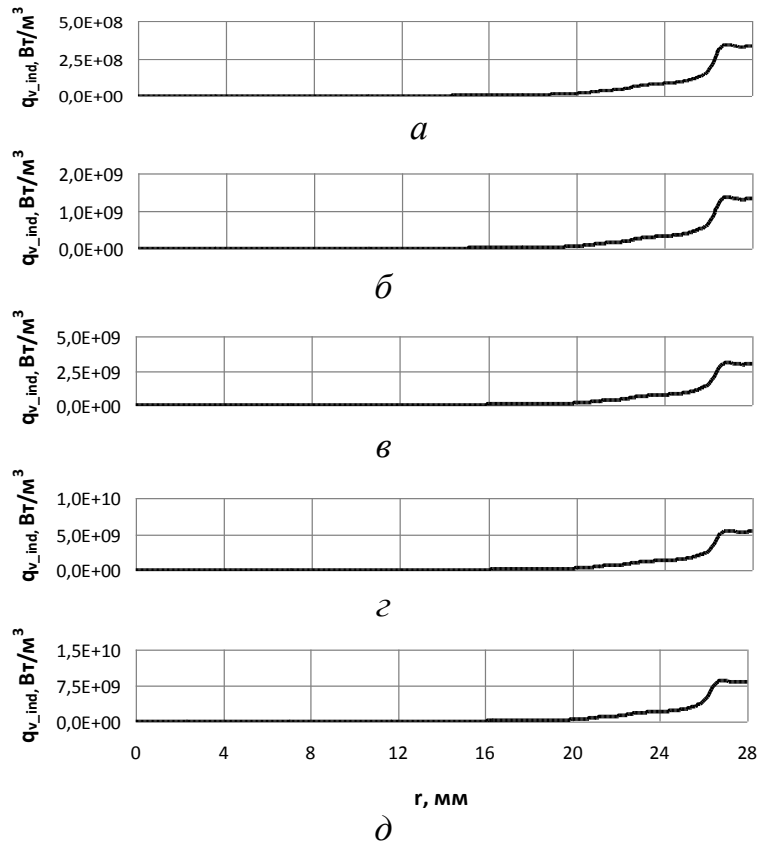


Рис. 5 - Зміна величини джоулевої теплоти, що виникає в плазмі при частоті струму на індукторі  $f=20$  МГц: а –  $I=50$  А; б –  $I=100$  А; в –  $I=150$  А; г –  $I=200$  А; д –  $I=250$  А

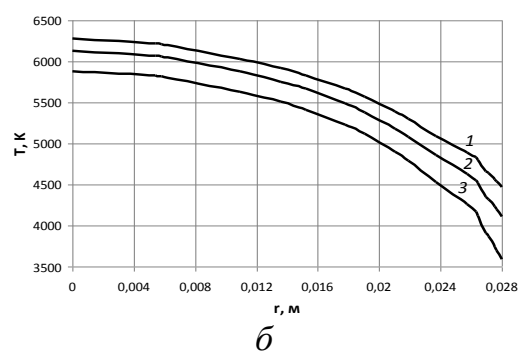
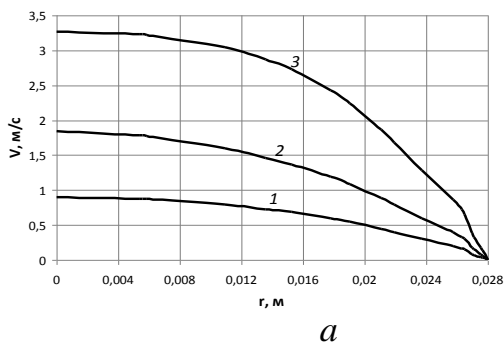


Рис. 6 - Розподіл швидкості (а) та температури (б) в залежності від радіусу камери плазмотрона при зміні швидкості плазмоутворюючого газу на вході в камеру: 1 – 0,5 м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 2,0 м/с

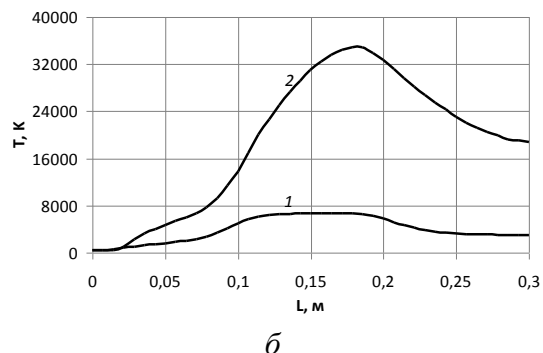
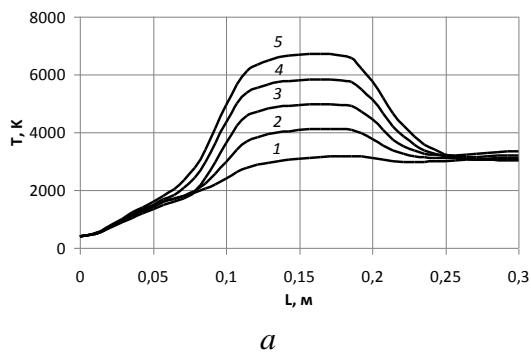


Рис. 7 - Результати досліджень впливу сили струму та радіаційного теплообміну на розподіл температур по осі ВЧІ-плазмотрона: а – вплив зміни сили струму при частоті 20 МГц: 1 – 50 А; 2 – 100 А; 3 – 150 А; 4 – 200 А; 5 – 250 А; б – вплив радіаційної складової теплообміну на розподіл температур при частоті 20 МГц та силі струму 250 А: 1 – з врахуванням радіаційної складової теплообміну; 2 – без врахування радіаційної складової

## Висновки

Результати теоретичних досліджень фізичних полів ВЧІ-плазмотрона при сфероїдизації гранул кварцу показали, що: при зростанні частоти струму на індукторі профіль індукованого струму в камері плазмотрона змінюється з V-подібного на W-подібний; рівень температур, який досягається в ВЧІ-плазмотроні при частоті струму 20 МГц, є достатнім для часткового плавлення і випаровування кварцових гранул, тому що максимальна температура у ядрі плазми перевищує температуру плавлення кварцу (2503 К) при всіх значеннях сили струму (50–250 А); при числовому аналізі теплового стану ВЧІ-плазмотрону обов'язково треба враховувати радіаційну складову теплообміну, тому що в протилежному випадку розрахункова температура плазми може сягати надто завищених значень (більш ніж у 5 разів).

**Список літератури:** 1. *Straub H.J.* Untersuchungen über den Existenzbereich der elektrodenlosen Ringentladung // *Ann. Phys.* — 1958. — Vol. 1. — P. 281 — 295. 2. ВЧ- и СВЧ-плазмотроны / С. В. Дресвин, А. А. Бобров, В. М. Лелёвкин и др. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1992. — 319 с. 3. Three-dimensional modeling of inductively coupled plasma torches / *D. Bernardi, V. Colombo, E. Ghedini* [et al.] // *Pure Appl. Chem.* — 2005.— Vol. 77, No. 2. — P. 359—372. 4. Моделирование процесса сфероидизации мелкодисперсных частиц кварца в ВЧІ-плазмотроне / *Е. Н. Панов, Н. А. Иванов, В. В. Кондратьев* [и др.] // *Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження.* — 2011. — №1(7) додаток. — С. 85—94. 6. Физические величины : справочник / под ред. И. С. Григорьева. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с. 7. *Краснощеков Е. А.* Задачник по теплопередаче : учебн. пособие / *Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел.* — М. : Энергия, 1969. — 264 с.

*Надійшла до редколегії 10.03.2013*

УДК 537.84

**Математичне моделювання фізичних полів у високочастотному індукційному плазмотроні / А. Ю. Педченко** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 167-174. – Бібліогр.: 7 назв.

Разработана математическая модель магнитогидродинамического и теплового состояния ВЧІ-плазмотрона для моделирования процесса сфероидизации кварцевых гранул. Исследовано влияние изменения частоты и силы тока, расходов плазмообразующего газа на поля индуцированного поля в плазме, на распределение полей температуры и скорости в ВЧІ-плазмотроне без и при наличии радиационной составляющей теплообмена.

**Ключевые слова:** ВЧІ-плазмотрон, магнитогидродинамическое и тепловое состояние, частота, плотность электрического тока, температура, скорость потока плазмы.

This paper deals with a mathematical model of physical fields of high-frequency inductive plasma torch. The results of computational simulation of magnetohydrodynamic thermal state process of spheroidizing of quartz granules are presented by changing such parameters as the frequency and current of the inductor, the velocity of plasma-forming gas, the presence or absence of the radiation component of heat transfer.

**Keywords:** high-frequency inductive plasma torch, magnetohydrodynamic and thermal state, frequency, current density, temperature, plasma velocity.

УДК621.778

**Р. В. БЕЛЯНИН**, ПАО «завод «ЮЖКАБЕЛЬ», Харьков

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДНОЙ КАТАНКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

На оборудовании ПАО «завод «Южкабель» выполнены исследования на двух партиях непрерывнолитой и непрерывнолитой и прокатанной медной катанки. Получены расчетно-

© БЕЛЯНИН Р. В., 2013

экспериментальные зависимости влияния режимов волочения на конечные свойства проволоки. Анализ влияния способа изготовления медной катанки на характеристики медной проволоки.

**Ключевые слова:** волочение, катанка медная, непрерывнолитая, проволока, качество

### **Введение**

Волочение - один из эффективных способов повышения прочностных характеристик проволочных изделий. Общая картина изменения механических свойств металла в процессе волочения состоит в повышении прочностных и снижении пластических характеристик. В процессе волочения происходит увеличение пределов прочности, текучести, упругости и пропорциональности, твердости при одновременном снижении таких показателей пластичности, как относительное удлинение и сужение, чисел перегибов, скручиваний и др.

Основными факторами, определяющими прочностные характеристики меди, служат характер дислокационной структуры и геометрические размеры заготовки. Несмотря на кажущуюся простоту процесса волочения и на то, что он применяется более 100 лет, многие его элементы изучены недостаточно.

Известно, что *основное влияние* на процесс волочения оказывают:

- прочностные и пластические свойства протягиваемого металла;
- степень и скорость деформации;
- форма профиля волочильного канала;
- материал волоки;
- качество трущихся поверхностей;
- смазка;
- тепловые процессы, происходящие при волочении.

Анализ последних исследований и литературы

На сегодняшний день в мире используется в основном 2 типа линий, это линии непрерывного литья и последующей горячей прокатки производства производства Southwire, Continuus-Properti, Contirod и линии непрерывного вертикального(восходящего) литья производства производства Upcast, Rautomeat, Vertirod. В обоих типах имеются преимущества по отношению к другим. В первых высокая производительность, широкий диапазон применения, переработка вторичного сырья во вторых компактность, возможность изготовления бескислородной меди с высокими электрическими свойствами и т.д.

Катанка должна обладать хорошей пластичностью и деформируемостью, поскольку именно от этих характеристик зависит степень волочения[1-10]. Чтобы определить качество катанки, оцениваются и геометрические характеристики материала. В процессе производства также следят за тем, чтобы поверхность была чистой, поперечное сечение не имело дефектов.

### **Цель исследования, постановка проблемы**

Цель работы – провести анализ параметров качества проволоки в зависимости от исходной катанки, полученной способом непрерывного литья и непрерывного литья и прокатки.

В работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнены экспериментальные исследования изменения физико-механических свойств по технологическим переходам в волочильной машине ПАО «завод «Южкабель» непрерывнолитой катанки и катанки, произведенной методом непрерывного литья и прокатки.

2. Получены расчетно-экспериментальные зависимости влияния режимов волочения на конечные свойства проволоки.

### **Материалы исследований**

Сопоставительные исследования непрерывнолитой катанки и катанки, произведенной методом непрерывного литья и прокатки были проведены на волочильном оборудовании ПАО «завод «Южкабель» при одинаковых режимах обжатия.

Медная катанка, представляющая собой проволоку диаметром 8 мм, является в настоящее время основным продуктом переработки меди. Основным сырьем для выпуска медной катанки являются медные катоды из меди марки М00к.

Исследование проведено на двух партиях непрерывнолитой и непрерывнолитой и прокатанной медной катанки на оборудовании ПАО «завод «Южкабель». Каждая партия включала 15 образцов проволоки различного диаметра. Испытания проволоки на растяжение в соответствии с требованиями ГОСТ 10446 «Проволока. Метод испытания на растяжение». Проволока разрезалась на образцы с расчетной длиной 200 мм. Проволока обеих партий (1-5 варианты) испытывали на разрывной машине Р-5 при настройке ее на шкалы 1000 кГ и 2500 кГ, проволока остальных вариантов испытывалась на разрывной машине Р-0,5 при настройке ее на шкалы 100 кГ, 250 кГ и 500 кГ. В процессе испытаний записывались диаграммы растяжения в координатах «нагрузка – деформация» при масштабе записи по оси деформации 10:1 и велось наблюдение за местом разрушения проволоки. Испытания по каждому варианту проводились на трех образцах. Перед испытаниями наносились метки по границам расчетной длины образцов, а также измерялись диаметры образцов микрометром.

### **Результаты исследований. Основные показатели процесса**

Процесс волочения характеризуется следующими основными деформационными показателями:

а) вытяжка

$$\lambda = \frac{F_0}{F_1},$$

где  $F_0$  и  $F_1$  - площади проволоки перед и после волюки, соответственно;

б) логарифмическая деформация удлинения или логарифмическая вытяжка

$$\ln \lambda = \ln \frac{F_0}{F_1};$$

в) относительное обжатие

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0};$$

г) относительное удлинение

$$\delta = \frac{F_0 - F_1}{F_0}.$$

Эти показатели в разных математических выражениях определяют главную деформацию удлинения осевого слоя, которая в процессе волочения является максимальной по отношению к поперечным деформациям и поэтому достаточно полно отражает деформационную сторону процесса.

Обжатие и вытяжка связаны между собой следующими соотношениями, основанными на законе постоянства объема:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{(\lambda - 1)}{\lambda}; \\ \lambda &= \frac{1}{(1 - \varepsilon)}. \end{aligned} \quad (1)$$



Результаты испытаний проволоки, произведенной из непрерывнолитой и непрерывнолитой и прокатанной медной катанки, приведены в табл. 1 и табл. 2, соответственно.

Таблица 1 - Результаты испытаний проволоки из непрерывнолитой катанки

Вариант №	Фактический диаметр проволоки $d$ , мм	Расчетная длина образца $l$ , мм	$\sigma_b$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_{200}$ , %
1	min 7,72 max 8,08 ср, 7,93	200	18,6	10,3	34,50
		200	18,8	11,1	30,50
		200	18,8	11,4	33,25
2	6,83	200	25,9	24,5	4,40
		200	25,9	24,5	5,00
		200	26,3	24,5	2,10
3	5,75	200	30,5	28,7	2,75
		200	30,7	28,5	3,70
		200	30,7	28,7	3,05
4	4,81	200	34,5	32,2	1,75
		200	34,0	32,2	2,40
		200	33,8	31,6	1,50
5	4,06	200	36,3	34,0	2,00
		200	36,4	35,4	2,00
		200	36,7	35,4	1,50
6	3,44	200	39,0	37,8	1,75
		200	39,6	38,9	2,25
		200	37,9	37,7	2,15
7	2,96	200	40,8	39,8	2,25
		200	41,1	40,6	1,60
		200	40,8	39,7	2,10
8	2,56	200	42,4	40,8	1,90
		200	40,3	39,5	0,25
		200	42,1	41,4	1,75
9	2,23	200	43,5	38,3	1,50
		200	43,5	39,0	1,50
		100	43,2	38,8	1,00
10	1,95	200	44,7	40,2	1,10
		200	44,7	41,9	0,60
		100	44,1	41,4	1,00
11	1,77	200	43,9	40,9	1,25
		200	44,7	43,0	0,60
		200	43,7	41,8	1,00
12	1,55	200	45,9	42,0	1,05
		200	44,0	40,8	0,30
		100	45,3	42,1	2,00
13	1,38	200	44,3	38,5	0,45
		200	45,2	41,2	0,50
		200	45,0	41,5	1,00
14	1,23	200	45,8	39,6	1,05
		200	45,6	40,7	0,75
		200	47,0	44,1	1,00
15	1,14	200	46,4	45,5	0,50
		200	47,1	46,0	0,50
		200	47,1	46,0	0,50

Таблица 2 - Результаты испытаний проволоки, произведенной из непрерывнолитой и прокатанной катанки

Вариант №	Фактический диаметр проволоки, $d$ , мм	Расчетная длина образца $l$ , мм	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_{200}$ , %
1	min 7,88 max 8,08 ср, 7,98	200	24,3	14,0	41,1
		200	24,0	13,8	39,9
		200	24,0	13,6	40,5
2	6,83	200	32,5	30,7	54,5
		200	32,2	30,5	6,00
		200	32,5	30,0	7,60
		200	32,3	30,2	7,65
3	5,75	200	37,0	35,1	1,85
		200	37,2	35,1	0,55
		200	37,1	35,4	1,75
		200	37,4	35,4	3,95
4	4,82	200	40,0	37,6	0,55
		200	40,1	37,6	3,00
		200	39,6	37,7	0,75
		200	39,6	37,7	1,10
5	4,06	200	41,6	38,8	3,00
		200	41,8	38,8	3,90
		200	41,2	38,9	2,60
6	3,45	200	43,5	41,3	2,00
		200	42,8	41,0	1,00
		200	43,5	41,5	2,30
7	2,96	200	43,9	41,5	3,20
		200	43,3	41,0	2,70
		200	42,9	40,8	2,45
		200	43,5	40,8	2,05
8	2,56	200	44,0	41,6	1,70
		200	44,6	41,6	1,85
		200	44,6	41,8	1,85
9	2,23	200	44,0	42,8	1,25
		200	45,5	41,4	1,80
		200	45,6	42,5	1,80
10	1,95	200	43,9	43,0	1,35
		200	45,9	43,5	1,95
		200	46,0	43,8	2,00
11	1,77	200	45,3	44,1	1,50
		200	46,3	44,7	0,85
		200	46,5	44,7	1,75
12	1,55	200	45,4	42,8	1,25
		200	47,3	45,0	1,45
		200	46,7	45,0	1,00
		200	46,4	44,3	1,50
13	1,38	200	46,6	44,4	0,65
		200	47,1	45,1	1,00
		200	47,1	45,1	1,00
14	1,23	200	48,3	46,1	1,60
		200	47,7	45,5	1,00
		200	48,5	46,1	1,85
15	1,13	200	47,3	44,6	0,55
		200	47,9	45,2	0,75
		200	48,7	46,3	1,00

На основе экспериментальных данных (табл. 1, табл. 2) с использованием формулы (1) были рассчитаны суммарные вытяжки для катанки двух типов. Результаты представлены на рис. 1.

Полученные значения  $\lambda_{\Sigma}$  были аппроксимированы следующими зависимостями:

- для катанки, полученной способом непрерывного литья и прокатки:

$$\lambda_{\Sigma} = 17.7 - 4.7 \ln F;$$

- для катанки, полученной способом непрерывного литья:

$$\lambda_{\Sigma} = 17 - 4.8 \ln F.$$

По сравнению с показателем обжатия коэффициент вытяжки точнее характеризует степень деформации металла при волочении, причем с повышением степени деформации разница между показателями деформации увеличивается.

Теоретически более обоснованное представление о степени деформации дает показатель «истинной» относительной деформации (логарифмическая деформация удлинения).

Важнейшее расчетное свойство логарифмической деформации удлинения - его аддитивность, т.е. возможность суммирования показателей нескольких, следующих один за другим переходов. Таким свойством показатели относительное обжатие и относительное удлинение не обладают. Однако то, что в теории пластических деформаций продолжают их применять, объясняется, с одной стороны, влиянием на нее теории упругих деформаций, а с другой - простотой определения этих показателей, что ценно при проведении инженерных расчетов.

Волочение можно вести либо через одну волоку, либо при помощи специальных устройств одновременно через несколько волок. В первом случае волочение называют однократным, а во втором - многократным. В последнем случае зависимость между начальным и конечным сечениями протягиваемой заготовки, числом протяжек и средней вытяжкой за переход выражается формулой:

$$n = \frac{(\ln F_0 - \ln F_n)}{\ln \lambda_c}, \quad (2)$$

где  $\lambda_c = \sqrt[n]{\lambda_{\Sigma}}$ .

С учетом результатов, полученных по формуле (1), логарифмическая деформация удлинения составляют:

- для технологии непрерывного литья-прокатки  $n=18,96$ ;

- для технологии непрерывного литья  $n=18,35$ .

По экспериментальным данным (табл. 1, табл. 2) построены графики, приведенные на рис. 2.

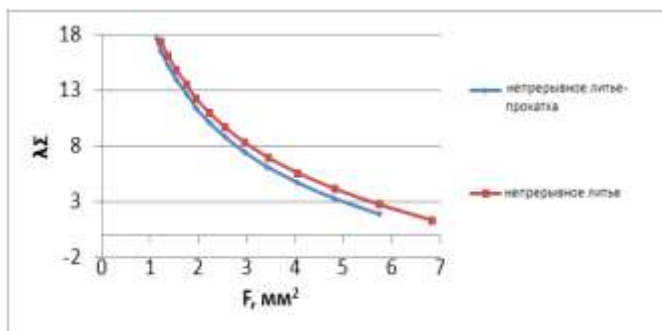


Рис. 1 – Графики зависимостей суммарной вытяжки от площади поперечного сечения проволоки в фильерах

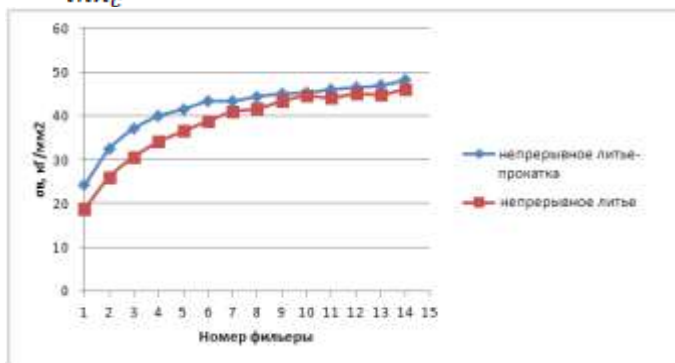


Рис. 2 – Изменение временного сопротивления разрыву медной проволоки после каждой фильеры

По результатам экспериментальных исследований катанки были получены функциональные зависимости  $\sigma_B=f(d)$ , которые имеют следующий вид:

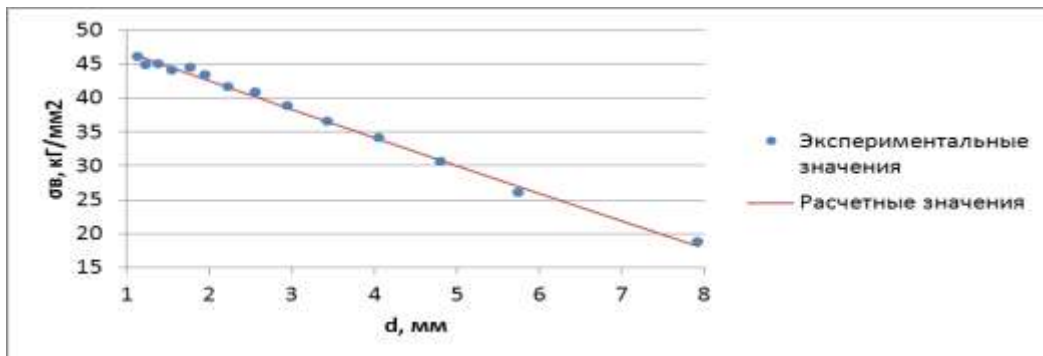
- для проволоки произведенной из непрерывнолитой катанки:

$$\sigma_B = -0,18d^2 - 1,711d + 49,4;$$

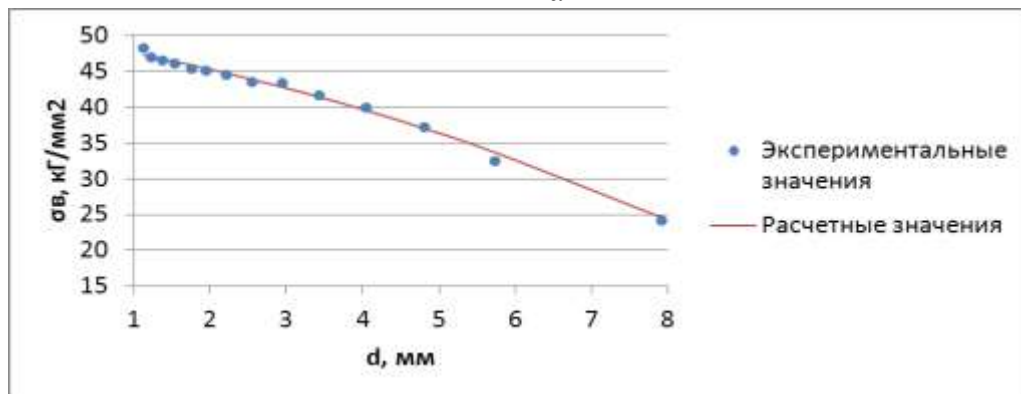
- для проволоки произведенной из непрерывнолитой и прокатанной катанки:

$$\sigma_B = 0,02d^2 - 4,33d + 51,1.$$

Полученные зависимость представлена в графическом виде на рис. 3.



а



б

Рис. 3 – Аппроксимирующие кривые зависимости  $\sigma_B = f(d)$ : а – из непрерывнолитой катанки; б – из непрерывнолитой и прокатанной катанки

### Заключение

В работе выполнены сопоставительные исследования непрерывнолитой катанки и катанки, произведенной методом непрерывного литья и прокатки на волочильном оборудовании ПАО «завод «Южкабель» при одинаковых режимах обжатия. В результате выполненных исследований установлено:

1. Суммарные вытяжки для катанки двух типов  $\lambda_{\Sigma}$  могут быть аппроксимированы зависимостями вида: для катанки, полученной способом непрерывного литья и прокатки  $\lambda_{\Sigma} = 17,7 - 4,7 \ln F$ ; для катанки, полученной способом непрерывного литья -  $\lambda_{\Sigma} = 17 - 4,8 \ln F$ .

2. Логарифмическая деформация удлинения составляют: для катанки, полученной по технологии непрерывного литья-прокатки  $n=18,96$ ; для катанки, полученной по технологии непрерывного литья  $n=18,35$ .

3. По результатам экспериментальных исследований катанки были получены функциональные зависимости  $\sigma_B=f(d)$ , которые имеют следующий вид: для проволоки произведенной способом непрерывного литья-прокатки:

$\sigma_{\text{в}} = -0,18d^2 - 1,711d + 49,4$ ; для проволоки произведенной способом непрерывного литья:  $\sigma_{\text{в}} = 0,02d^2 - 4,33d + 51,1$ .

4. Полученные результаты свидетельствуют о том, что показатели качества проволоки, полученной из непрерывнолитой катанки на 3-5% выше, чем у проволоки, полученной из катанки способом непрерывного литья и прокатки

**Список литературы.** 1. Красильников Л. А. Новые процессы деформации металлов и сплавов. - М.: Высшая школа, 1986. - 330 с. 2. Красильников Л. А. Волоочильщик проволоки / Л. А. Красильников, А. Г. Лысенко. - М.: Metallurgy, 1987. - 320 с. 3. Перлин И. Л. Теория волочения / И. Л. Перлин, М.З. Ерманок. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Metallurgy, 1971. - 411 с. 4. Шаталов Р. Л. Теория процессов прокатки и волочения. - М.: Издательство МГОУ, 1993. - 250 с. 5. Томсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен Ч. Янг, Ш. Кобаяши. - М.: Машиностроение, 1968. - 504 с. 6. Горловский М. Б. Оборудование и инструмент для волочения стальной проволоки. - М.: Машиностроение, 1974. - 459 с. 7. Горловский М. Б. Справочник волочильщика проволоки / М. Б. Горловский, В. Н. Меркичев. - М.: Metallurgy, 1993. - 335 с. 8. Колмогоров Г. Л. Инструмент для волочения / Г. Л. Колмогоров, С. И. Орлов, В. Ю. Шевляков. - М.: Metallurgy, 1992. - 144 с. 9. Тарновский А. Л. Эффективность волочения с противонапряжением. - М.: Metallurgy, 1959. - 241 с. 10. Юхвец И. А. Волоочильное производство. - М.: Metallurgy, 1987. - 319 с.

Надійшла до редколегії 22.01.2013

УДК621.778

**Анализ влияния способа изготовления медной катанки на характеристики медной проволоки / Белянин Р.В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 174-181. – Бібліогр.: 10 назв.**

На обладнанні ПАТ «завод «Південкабель» виконані дослідження на двох партіях безперервнолітої і безперервнолітої та прокатоної мідної катанки. Отримані розрахунково-експериментальні залежності впливу режимів волочіння на кінцеві властивості дроту. Зіставлення параметрів якості дроту в залежності від вихідної катанки, отриманої способом безперервного лиття і безперервного лиття та прокатки.

**Ключові слова:** волочіння, катанка мідна, безперервноліта, дріт, якість

The equipment of PJSC Yuzhcable works conducted research on the two parties, and continuous casting and continuous and rolled copper rod. Calculated experimental dependence on the effect of drawing on the final properties of the wire. Analysis of the effect of the method of manufacturing copper rod on characteristics of copper wire.

**Keywords:** drawing, copper rod, concast, wire, quality

## ЗМІСТ

<i>Мамедов Б. Ш.</i> Краткий анализ состояния теории и проектирования воздушно-реактивных двигателей на современном этапе	3
<i>Попов С. М.</i> Дослідження впливу титану на зносостійкість вуглецевохромистих сплавів при ударно-абразивному зношуванні	15
<i>Васильченко Т. А.</i> Экспериментальные исследования планетарного привода кривошипных прессов	19
<i>Мороз В. І., Фомін О. В., Братченко О. В., Фомін В. В.</i> Формалізоване описання конструкції кузовів сучасних залізничних напіввагонів	24
<i>Ноздрачова К. Л.</i> Особливості ультразвукового контролю протяжних виробів	29
<i>Кроль О. С., Бурлаков Е. И.</i> Моделирование шпиндельного узла обрабатывающего центра	33
<i>Ванюшкин А. С.</i> Доказательства действенности показателей диверсификации портфеля инвестиционных проектов	39
<i>Ревенчук І. А.</i> Математичні моделі геометричних перетворювань при візуалізації 3D об'єктів	53
<i>Баляр В.Б.</i> Суб'єктивно-статистична оцінка технічної якості роботи системи DVB-T2 на рівні транспортного потоку	57
<i>Левыкин И. В., Хорошевский А. И.</i> Моделирование процесса выбора СУС для разработки удалённой информационной аналитической издательской системы	64
<i>Копп В. Я., Качур С. А.</i> Автоматизация процессов управления сложными системами в нештатных ситуациях на базе моделей сетей Петри	79
<i>Бельчева А. В., Манакова Н. О.</i> Модель минимизации временных затрат реализации ГИС-проекта с учетом полноты информационного обеспечения	85
<i>Корчинский В. В.</i> Модель шумового сигнала для передачи конфиденциальной информации	89
<i>Гаєвська В. О., Шур В. А., Кабиш А. Ю.</i> Управління проектами будівництва об'єктів виробництва питної води з підземних джерел	94
<i>Лошаков В. А., Лихограй В. Г., Ал-Джанабі Хуссам Дхеа, Нух Таха Насіф</i> Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах LTE C MIMO	100

<b>Ювенко О. В., Кот Т. М., Малишев В. В., Кошуков О. В., Перлій В. М.</b> Програмний комплекс «Автоекзаменатор «охорона праці». Задачі, які вирішує комплекс в навчальному процесі	107
<b>Василенко Ю. А., Хуссейн Я. Т.</b> Анализ вероятностных характеристик при комбинированном многостанционном доступе	112
<b>Федякіна З. П., Матвєєва Т. В., Шаповалова І. Є., Петік І. П.</b> Купажування олій з оптимізованим жирнокислотним складом	116
<b>Кузнецова Л. Н., Папченко В. Ю., Демидов И. Н.</b> Получение низкоплавкой фракции пальмового масла	120
<b>Свідло К. В., Липова Ю. Ю.</b> Визначення потенційних ризиків «томатних» геродієтичного призначення технології хлібців	124
<b>Березуцкий В. В., Березуцкая Н. Л., Халиль В. В.</b> Разработка проточного активатора воды	129
<b>Штамбург В.В.</b> Гетерофазный синтез триалкилортоформиатов в присутствии полиэтиленгликоля-9	132
<b>Кіщенко В. А., Левчук І. В., Осейко М. І., Голубець О. В., Литвиненко О. А.</b> Визначення сквалєну – унікального фітостерину ліпідів методом газорідинної хроматографії	137
<b>Мосейко Ю. В.</b> Піроушільнення пористих композитів за низької температури	142
<b>Кириченко А. Г.</b> Макрокинетические закономерности термодинамического распада углеродсодержащих газов на металлах подгруппы железа. Часть 1	145
<b>Рудяк Ю. А., Ткаченко Г. І., Грибков О. В., Шостак Д. І.</b> Визначення абсолютних значень та величин співвідношення оптико-механічних констант прозорих діелектриків	150
<b>Тиньянова І. І.</b> Моделирование гидродинамических характеристик лопастных систем радиально-осевой гидротурбины	156
<b>Дунев А. А.</b> Алгоритм работы программного пакета MAXWELL 3D, применяемого для численного анализа магнитного поля в двигателе с катящимся ротором	161
<b>Педченко А. Ю.</b> Математичне моделювання фізичних полів у високочастотному індукційному плазмотроні	167
<b>Беянин Р.В.</b> Анализ влияния способа изготовления медной катанки на характеристики медной проволоки	174

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Нові рішення в сучасних технологіях

№11(985)

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск: к. т. н. І. Б. Обухова

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».  
Рада молодих учених і спеціалістів РМУС, тел. (057)707-60-40, e-mail:  
[kovotima@gmail.com](mailto:kovotima@gmail.com)

Обл.-вид. №16-13

Підп. до друку «25» березня 2013р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі  
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.  
Наклад 300 прим. Зам. № 50. Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта  
видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня "Технологічний Центр"  
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002  
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4

---