

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 26(1069)2014

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2014

Вісник Національного технічного університету "ХПІ"

Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ» – 2014р. - №26(1069) –216 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. Клепиков, 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. Пуляев, 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. І. Бондаренко, доцент, К.О. Костик, канд.техн. наук.

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.

У квітні 2013 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Нові рішення в сучасних технологіях» включений у довідник періодичних видань бази даних «**Ulrich's Periodicals Directory**» (New Jersey, USA)

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ"

Протокол № 10 від « 22 » листопада 2013 р.

УДК 369.013

А. В. ВАСИЛЬЄВ, канд. техн. наук, доц., Полтавський національний технічний університет;

С. В. ПОПОВ, канд. техн. наук, доц., Полтавський національний технічний університет;

А. М. ПІРНАТ, асистент, Полтавський національний технічний університет;

О. О. ФЕДІК, студент, Полтавський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МОДУЛЬНО - РОЗРАХУНКОВОГО АНАЛІЗУ ЗАТИСКНИХ ПРИСТОСУВАНЬ

Наведені результати досліджень особливостей використання модульно-розрахункового аналізу затискних пристосувань, що застосовується для розрахунку сил, які діють при затисканні різними способами заготовки в процесі її оброблення на металорізальному обладнанні

Ключові слова: розрахунок сил затискання, заготовка, прикладення сил, затискні пристосування, закріплення, затискання у патроні, затискання у призмах із притискачем, затискання у лещатах

Вступ. У процесі затискання, а в подальшому і обробітку заготовки, бажано розрахувати і вибрати затискне пристосування, яке має важливе значення і впливає на якість і параметри обробленої деталі. Тому метою цієї роботи є розрахунок і дослідження затискних пристосувань на основі розрахункової програми в середовищі «MathCad», використовуючи типові схеми затискання.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дане питання висвітлено [1, 2] авторами у своїх публікаціях. Відображено приклад модульно-розрахункового аналізу затискних пристосувань і його важливість для виготовлення деталі. Але авторами не відображено, яким чином полегшити розрахунок затискних пристосувань і заощадити час, який використовується на їх проектування.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення сил затискання, які розраховують при конструюванні нових затискних пристосувань та при використанні наявних універсальних і переналагоджуваних пристосувань. Вирішення поставленої задачі буде представлено на основі типових схем затискних пристосувань, створених на їхній основі розрахункових модулів та підготовки розрахункової програми в середовищі «MathCad».

Дослідження розрахунку сили затискання. Розрахунок сил затискання виконують при конструюванні нових пристосувань і при використанні наявних універсальних і переналагоджуваних пристосувань. Для розрахунку сил затискання необхідно знати умови обробки – величину, напрям і місце прикладення сил, що зрушують заготовку, а також схему її установки і затиснення. Розрахунок сил затискання може бути зведений до задачі статичної рівноваги заготовки під дією прикладених до неї зовнішніх сил [1, 2].

© А. В. ВАСИЛЬЄВ, С. В. ПОПОВ, А. М. ПІРНАТ, О. О. ФЕДІК, 2014

До оброблюваної заготовки прикладені сили, що виникають в процесі обробки, шукані сили затиснення і реакції опор. Під дією цих сил заготовка знаходиться у рівновазі. Сила затиснення Q повинна бути достатньою для попередження зміщення установленної в пристосуванні заготовки. Якщо величина Q виявляється більшою за Q' , знайденої із умов точності виконання операції, то необхідно внести корективи в її побудови змінити схему установки і закріплення заготовки, режиму різання, умов виконання операції. Внаслідок чого можливе зменшення первинних значень похибок закріплення і форми. При повторній перевірці повинна виконуватись умова $Q \leq Q'$.

Частиною організації такого процесу розрахунку затискних пристосувань є обсяг роботи і часу який затрачується на розрахунок сил затискання. Тому на основі деяких типових схем затискних пристосувань створені розрахункові модулі та підготовлені на їх основі розрахункові програми в середовищі «MathCad». Це дозволяє суттєво збільшити продуктивність розрахунків, збільшити їх точність, застрахуватися від помилок, та заощадити час при розрахунках.

Розрахунки здійснюються за стандартними модулями, на прикладі яких розглядалася методика розрахунку сил закріплення [1]. В нашому дослідженні дані розрахунки пропонується автоматизувати для більшої надійності результатів за допомогою середовища «MathCad».

Типові схеми затискних пристосувань введені в базу даних середовища «MathCad». До цих схем зводяться умови задачі затискного пристосування. Способи затискання деталей розглянемо наступні: затискання у патроні; затискання у призмах із притискачем; затискання у лещатах.

Нижче пропонується більш детальний розрахунок цих затискних пристосувань.

1. Визначення в загальному вигляді сили затискання при точінні заготовки яка базується в токарному патроні (рис. 1) [3, 4].

Розкладемо силу закріплення на складові: Q_1 – сила яка протидіє повороту заготовки навколо осі; Q_2 – сила яка протидіє зміщенню заготовки по осі.

Тоді, з алгоритму розрахунку сили закріплення сила закріплення складе:

$$Q = k\sqrt{Q_1^2 + Q_2^2}. \quad (1)$$

Для забезпечення нерухомості заготовки під дією всіх зовнішніх сил складемо рівняння статичної рівноваги:

$$\sum M_{Ox} = nF_{mp1} \frac{D_2}{2} - P_z \frac{D_1}{2} = 0; \quad (2)$$

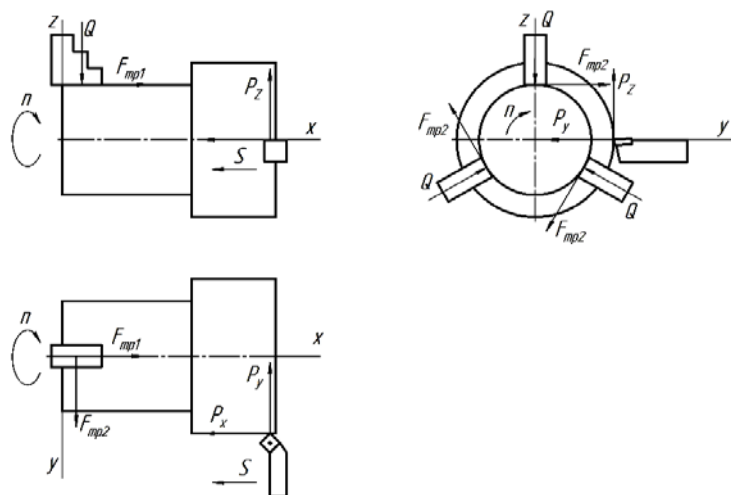


Рис. 1 – Схема сил, діючих на заготовку під час обробки в токарному патроні

$$\sum P_{OX} = nF_{mp2} - P_X = 0. \quad (3)$$

Підставимо в ці рівняння значення сили тертя:

$$F_{mp} = fQ. \quad (4)$$

Тоді

$$\sum M_{OX} = 3fQ_1 \frac{D_2}{2} - P_Z \frac{D_1}{2} = 0; \quad (5)$$

$$\sum P_{OX} = 3fQ_1 - P_X = 0. \quad (6)$$

Звідси знаходимо сили Q_1 і Q_2 :

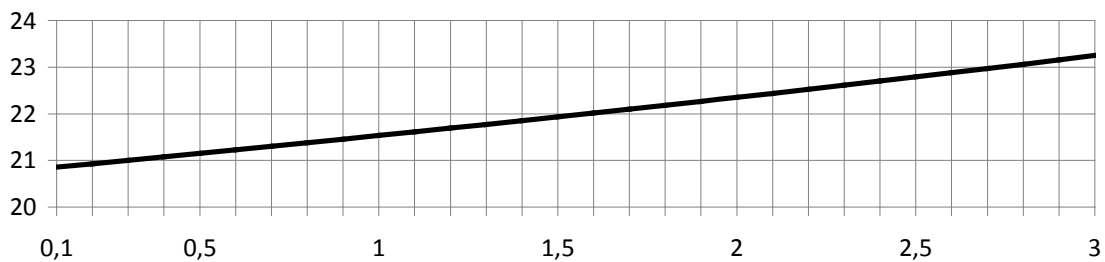
$$Q_1 = \frac{P_Z D_1}{3f D_2}; \quad (7)$$

$$Q_2 = \frac{P_X}{3f}. \quad (8)$$

Підставляємо значення сил Q_1 і Q_2 в формулу розрахунку сили затиснення:

$$Q = k \sqrt{\left(\frac{P_Z D_1}{3f D_2}\right)^2 + \left(\frac{P_X}{3f}\right)^2}. \quad (9)$$

На рис. 2 наведено графік, за допомогою якого можна швидко визначити силу закріплення за відомими величинами:



Р

Рис. 2 – Графік залежності сили закріплення Q від глибини різання t

2. Визначення в загальному вигляді сили закріплення при фрезеруванні заготовки, яка базується на одній призмі та закріплюється притискачем (рис. 3) [3, 4].

За аналогією із першим прикладом можна допустити, що найбільша сила закріплення знадобиться для виключення повороту заготовки навколо осі в результаті дії сили P_Z і її зміщення вздовж цієї осі від сили P_X .

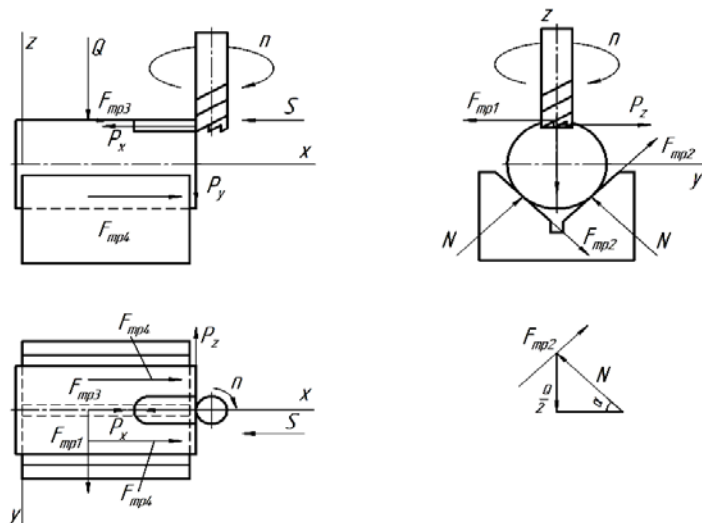


Рис. 3 – Схема сил діючих на заготовку під час обробки при закріпленні у призмах

$$Q = k \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2}. \quad (10)$$

Для визначення величини цієї сили складемо два рівняння:

$$\sum_{i=1}^n M_{OX} = P_Z \frac{D}{2} - F_{mp1} \frac{D}{2} - 2F_{mp2} \frac{D}{2} = 0; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{OX} = -P_X + F_{mp3} + 2F_{mp4} = 0, \quad (12)$$

де

$$F_{mp1} = Q_1 F_1; \quad (13)$$

$$F_{mp2} = \frac{Q_1 f_2}{2 \sin \alpha/2}; \quad (14)$$

$$F_{mp3} = Q_2 F_2; \quad (15)$$

$$F_{mp4} = \frac{Q_2 f_2}{2 \sin \alpha/2}. \quad (16)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$\sum_{i=1}^n M_{OX} = P_Z \frac{D}{2} - \frac{Q_1 f_1 D}{2} - \frac{Q_1 f_1 D}{2 \sin \alpha/2} = 0; \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{OX} = -P_X + Q_2 f_2 + \frac{Q_2 f_2}{\sin \alpha/2} = 0. \quad (18)$$

Вважаючи, що ці рівняння відносно Q_1 та Q_2 і діаметр базової поверхні заготовки дорівнює діаметру поверхні, на якій обробляється паз, отримаємо:

$$Q_1 = \frac{P_Z}{f_1 + \frac{f_1}{\sin \alpha/2}}; \quad (19)$$

$$Q_2 = \frac{P_X}{f_2 + \frac{f_2}{\sin \alpha/2}}. \quad (20)$$

Підставимо значення Q_1 та Q_2 в рівняння сили затиснення:

$$Q = k \sqrt{\left(\frac{P_Z}{f_1 + \frac{f_1}{\sin \alpha/2}} \right)^2 + \left(\frac{P_X}{f_2 + \frac{f_2}{\sin \alpha/2}} \right)^2}. \quad (21)$$

Наведемо нижче (рис. 4) для прикладу графік сили затиснення в залежності від величини складової сили різання P_Z .

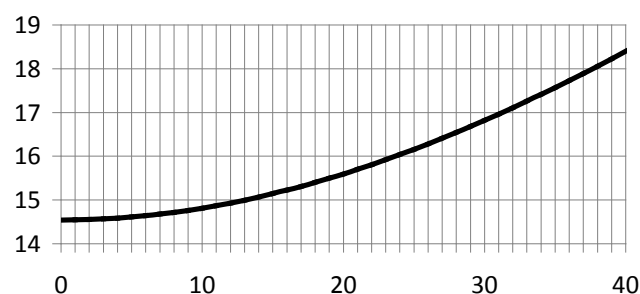


Рис. 4 – Графік залежності сили закріплення Q від складової сили різання P_Z

3. Визначення в загальному вигляді сили закріплення при фрезеруванні заготовки, яка закріплена у лещатах (рис. 5) [3, 4].

Необхідно урівноважити три зовнішні збуджуючі сили P_x , P_y , P_z . Тому розрахункове рівняння буде мати наступний вигляд:

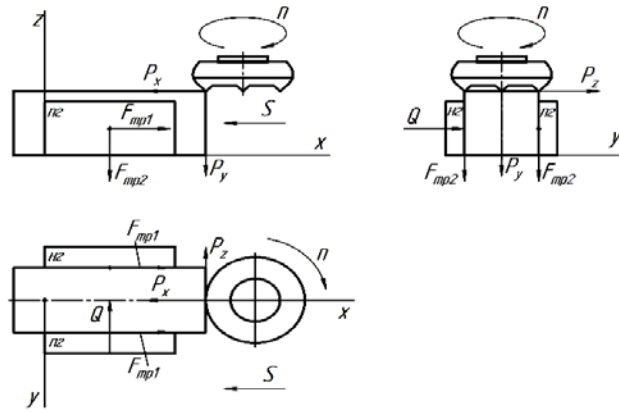


Рис. 5 – Схема сил діючих на заготовку під час обробки

$$Q = k\sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 + Q_3^2}. \quad (22)$$

Для визначення величини цієї сили складемо три рівняння:

$$\sum_{i=0}^n M_{OZ} = P_z a - Q_1 b = 0; \quad (23)$$

$$\sum_{i=0}^n P_{Ox} = -P_x + 2F_{mp1} = 0; \quad (24)$$

$$\sum_{i=0}^n M_{OY} = P_y a - 2F_{mp2} b = 0. \quad (25)$$

Підставимо значення сили тертя.

$$F_{mp} = fQ. \quad (26)$$

Так як умови контакту заготовки з губками лещат однакові, то коефіцієнти тертя теж однакові.

$$\sum_{i=0}^n M_{OZ} = P_z a - Q_1 b = 0; \quad (27)$$

$$\sum_{i=0}^n P_{Ox} = -P_x + 2fQ_1 = 0; \quad (28)$$

$$\sum_{i=0}^n M_{OY} = P_y a - 2bfQ_2 = 0. \quad (29)$$

Розв'язуючи ці рівняння відносно Q_i , отримаємо:

$$Q_1 = \frac{P_z a}{b}; \quad (30)$$

$$Q_2 = \frac{P_x}{2f}; \quad (31)$$

$$Q_3 = \frac{P_y a}{2bf}. \quad (32)$$

Підставимо значення Q_1 , Q_2 та Q_3 в рівняння сили затиснення:

$$Q = k\sqrt{\left(\frac{P_z a}{b}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{2f}\right)^2 + \left(\frac{P_y a}{2bf}\right)^2}. \quad (33)$$

Наведемо нижче (рис. 6) графік сили затиснення в залежності від ширини губок b .

База типових схем середовища «MathCad» постійно поповнюється новими схемами затискних пристосувань, що дозволяє швидше вийти на схему, яка найбільше задовольняє умові задачі.

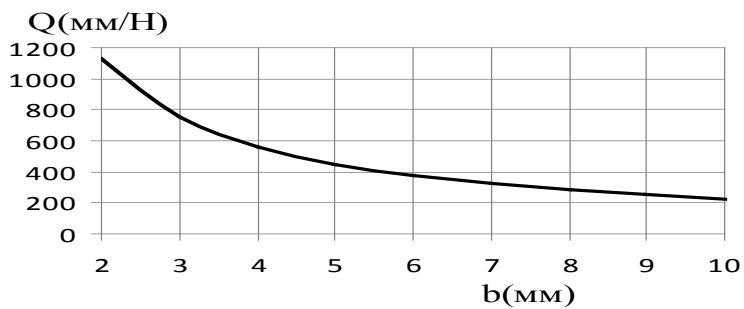


Рис. 6 – Графік залежності сили закріплення Q від ширини губок b

Висновки. Проведені дослідження виділили типові схеми затискних пристосувань, які введені в базу даних середовища «MathCad», розглянули способи затискання деталей та їх розрахунок, а також навели графіки залежностей, які допомагають швидко визначити силу закріплення заготовки.

Список літератури: 1. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с. 2. Гусев А.А. Технология машиностроения / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с. 3. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков / М.А. Ансеров. – М.: Машиностроение, 1978. – 638 с. 4. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков. – М.: Машиностроение, 1985 – . – Т.2. – 1985. – 495 с.

Bibliography (transliterated): 1. Korsakov V. (1983). Basics fixtures design. M: Machine-building, 277 p. 2. Gusev A. (1986). Mechanical engineering technology. M: Machine-building, 480 p. 3. Anserov M. (1978). Metal-cutting machines devices. M.: Machine-building, 638 p. 4. Kosilova A. (1985). Reference engineer-machine builder. Vol.2. . M: Machine-building, 495 p.

Надійшла (received) 05.04.2014

УДК 621.9.019

В. М. БУРДЕЙНА, асистент, УІПА, Харків,

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ КООРДИНОВАНИХ РОЗМІРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАЦІЇ КЕРНІННЯ

В статті розглянуті проблеми забезпечення точності координованих отворів за допомогою використання емпіричних залежностей для полів розсіювання отворів, що оброблюються операцією кернінням. Запропоновані математичні моделі для розрахунку полів розсіювання розмірів від бази та позиційного відхилення осей отворів, з урахуванням вильоту ріжучого інструменту та кута при вершині керна. Визначена питома вага факторів при розрахунку полів розсіювання.

Ключові слова: точність, отвір, розсіювання, керніння, свердління, обробка, лунка, твердість, зусилля, модель.

Вступ. Завдання більш повного використання метало ріжучого обладнання і в першу чергу багатоопераційних верстатів, передбачає не тільки посилення вимог до окремих елементів верстатів, але і застосування таких способів обробки, які б при гарантованому забезпеченні заданої точності були економічно вигідні.

© В. М. БУРДЕЙНА, 2014

При обробці отворів діаметром від 1 мм до 6 мм мірним інструментом є тенденція до максимального скорочення наладок, містять напрямні кондукторні плити при забезпеченні заданої точності за рахунок безкондукторної обробки.

Однією з найважливіших проблем верстатобудування [1] є проблема забезпечення заданої точності обробки та прогнозування її на стадії проектування металорізального обладнання.

При обробці отворів на агрегатних верстатах та автоматичних лініях значні труднощі полягають у досягненні необхідної точності координат розташування цих отворів. У цьому випадку конструктор, як правило, передбачає спрямування ріжучого інструменту по кондукторних втулках, що пов'язано з додатковими витратами як при конструюванні, так і при виготовленні верстата.

При обробці отворів мірним інструментом на агрегатних верстатах є тенденція до максимального скорочення наладок, що містять направляючі кондукторні плити при забезпеченні необхідної точності за рахунок безкондукторної обробки [2]. Крім того, практика показала, що в процесі розробки якої конструкції необхідно в обов'язковому порядку проводити розмірний аналіз всіх конструкторних рішень. У агрегатобудуванні це перш за все відноситься до розрахунку вихідних параметрів координованих розмірів отворів.

Проблема прогнозування точності координованих розмірів ускладнюється при багатоперехідній обробці отворів мірним інструментом з використанням безкондукторної схеми. Зведений з цього питання в літературних джерелах немає. Основними факторами [3,4], що впливають на точність координованих розмірів (розмір від бази і позиційне відхилення осей оброблюваних отворів) є: механічні властивості оброблюваного матеріалу, жорсткість різального інструмента за торець шпинделя, вихідна точність розташування оброблюваної поверхні заготовки по відношенню до осі свердла, геометричні параметри ріжучої частини інструменту та ін.

При конструюванні металорізального обладнання, окремі позиції якого призначені для обробки в суцільному матеріалі отворів $d = (1-6)$ мм, деякі іноземні фірми (Olivetti, Kinsburi) перед свердлінням ввели такий перехід як керніння, припускаючи, що отримана при цьому лунка дасть більш точний напрямок ріжучого інструменту при подальшому свердлінні.

Мета роботи. Метою наших досліджень було визначення оптимальних параметрів обробки координованих отворів при кернінні і кернінні з наступним свердлінням.

Методика дослідження. Експериментальні дослідження керніння лунок проводилося трьома способами:

- керніння з ударом в кінці робочого ходу пінолі (посилення удару становило 100 Н);

- нанесення лунок з використанням пневмоциліндру (посилення деформування становило 1500 Н - 2000 Н);

- керніння лунок ненаголошених деформуванням за допомогою електромеханічного приводу пінолі (зусилля деформації - 1000 Н).

Матеріалом в експериментах використовувалися заготовки зі сталі 45 (HB =

2000МПа - 22000 МПа) сірого чавуну СЧ 15 (НВ = 1000 МПа - 1200 МПа) і алюміній сплаву АКЧ (НВ = 500 МПа - 550 МПа).

Дослідженню піддавалися наступні фактори: кут при вершині керна $\alpha = 60^\circ$ і $\alpha = 90^\circ$, а також твердість оброблюваного матеріалу (НВ). Величина зазору між керном і отвором втулки, що виправляє, $T_s = (5 \div 10)$ мкм, довжина втулки, що спрямовує, прийнята була максимальною $l_{вт} = 50$ мм, виліт керна за торець втулки $l_x = (10 \div 12)$ мм.

Математичні моделі при використанні операції керніння. В експериментальних дослідженнях з використанням методики планування експерименту [5] необхідно перевірити вплив геометричних, жорсткісних факторів на точність механічної обробки. За вихідний параметр прийнято поле розсіювання координованих розмірів, яке складається з поля розсіювання розміру від базової поверхні або осі (ω_B) і позиційного відхилення осей оброблюваних отворів (ω_O).

У результаті проведення повного факторного експерименту [6,7] і математичної обробки даних експериментів отримані наступні рівняння оптимізації для визначення діаметру відбитка d_{opt} і глибини його l_{opt} :

$$d_{opt} = 1387 \frac{P^{0,2} \cdot \alpha^{0,426}}{HB^{0,32}} \quad (1)$$

$$l_{opt} = 1057,3 \frac{P^{0,205}}{\alpha^{1,21} \cdot HB^{0,32}} \quad (2)$$

де P - зусилля деформування матеріалу при кернінні.

Питома вага факторів в рівнянні (1) зусилля деформації $P = 22\%$, а кут керна $\alpha = 32\%$, твердість оброблюваного матеріалу $HB = 46\%$. У рівнянні (2) відповідно: $P \approx 14\%$, $\alpha \approx 58\%$, $HB \approx 28\%$.

Дослідження показали, що зусилля керніння P надає менш істотний вплив як на величину відбитка (d_{opt}) так і на глибину його (l_{opt}) і складає відповідно від 22% до 14%. Кут керна α прямопропорційно впливає на d_{opt} і його питома вага становить 32%, а на глибину - оберненопропорційно впливає і дуже суттєво - до 58%.

Твердість матеріалу надає більш істотний вплив на d_{opt} (46%), ніж на його глибину l_{opt} (28%).

Данні результати вказують на те, що глибина від печатка збільшується більш істотно зі збільшенням зусилля керніння і зменшенням кута керна. Мінімальні кути α , рекомендовані для відносно м'яких матеріалів (сірого чавуну і алюмінієвого сплаву) $\alpha_{min} = 60^\circ$, а для сталі $\alpha_{min} = (70 \div 75)^\circ$.

Однак технологічно більш важливо забезпечувати певний діаметр відбитка для подальшого переходу свердління отворів. Для виявлення впливу похибки позиціонування (переходу з однієї позиції на іншу) був введений ще один фактор T_s . Тоді вихідне рівняння оптимізації повного факторного експерименту типу 2^5 буде мати наступний вигляд:

$$w_{B,O} = f(\alpha, HB, T_s, d_H, j) \quad (3)$$

де ω_B - практичне поле розсіювання розмірів від бази; ω_O - практичне поле розсіювання позиційних відхилень; d_H - діаметр ріжучого інструменту, мм.

Після математичної обробки результатів експериментальних досліджень отримані наступні рівняння оптимізації для розрахунку практичних полів розсіювання:

- розмірів від бази:

$$w_B = 505,47 \frac{\alpha^{0,127} \cdot HB^{0,061} \cdot T_C^{0,1199}}{d_H^{0,295} \cdot j^{0,25}} \quad (4)$$

- Позиційних відхилень осей отворів:

$$w_O = 22,4 \frac{\alpha^{0,47} \cdot T_C^{0,079}}{d_H^{0,194} \cdot HB^{0,01} \cdot j^{0,026}} \quad (5)$$

Нижче в табл. 1 представлені питома вага факторів у залежностях (4) і (5).

Таблиця 1 – питома вага факторів

Поле розсіювання	Питома вага, %				
	α	d_H	HB	j	T_C
ω_B	14	33	7	32	14
ω_O	60	25	1	4	10

Математичні моделі точності координованих розмірів при кернінні - свердлінні – розгортанні. Експериментальні дослідження виконані для трьохперехідної обробки: 1 період - керніння лунки ; 2 перехід - свердління отвору ; 3 перехід - одноразове розгортання .

Статистичні характеристики розсіювання координованих [7] розмірів представлені: для розміру від бази - (табл. 2), для міжосьових розмірів - (табл. 3) для позиційних відхилень - (табл. 4).

Для кожної залежності використовуємо повний факторний експеримент типу ПФЕ. Кожна точка плану експерименту являє собою розсіювання розмірів ω_R , ω_B , або позиційних відхилень ω_O на базовій довжині 10 мм. Поля розсіювання розмірів визначалися на підставі обробки експериментальних заготовок на агрегатних верстатах або багатоцільових розточувальних верстатах з наступним виміром точностних параметрів і обробкою результатів, що отримані на основі математичної статистики та теорії ймовірностей.

Основними статистичними характеристиками [7] є середні арифметичні відхилення розмірів: середньоквадратичні відхилення розмірів :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 f_i}{n}} \quad (6)$$

де f_i - емпірична частота потрапляння відхилень розмірів в заданий інтервал; X_i - значення і-го розміру; n - обсяг вибірки.

На підставі досліджень встановлено, що точність координованих розмірів підпорядковується закону нормального розподілу, а поле розсіювання визначається за формулою (7):

$$w_{R,B} = 2l_H \cdot S \quad (7)$$

де S - середньоквадратичне відхилення досліджуваного параметра

Статистичні характеристики при кернінні, свердління і розгортанні для розмірів представлені в табл. 2

Таблиця 2 – статистичні характеристики при кернінні, свердління і розгортанні для розмірів

Номер ПФЕ	Фактори				Характеристики розподілення, мкм			Закон розсіювання	Поле розсіювання
	$I_{и}$	$d_{и}$	НВ	j	$\square X$	S	W		
1	-	-	-	-	46,0	17,5	80	Нормальний	147
2	+	-	-	-	40,0	21,3	100	Нормальний	179
3	-	+	-	-	29,0	18,9	90	Нормальний	159
4	+	+	-	-	26,0	20,7	90	Нормальний	174
5	-	-	+	-	68,0	22,26	120	Нормальний	187
6	+	-	+	-	50,0	22,6	120	Нормальний	190
7	-	+	+	-	44,0	22,0	120	Нормальний	185
8	+	+	+	-	98,0	22,26	120	Нормальний	187
9	-	-	-	+	43,0	13,0	50	Нормальний	109
10	+	-	-	+	63,0	23,8	10	Нормальний	200
11	-	+	-	+	55,0	16,1	80	Нормальний	135
12	+	+	-	+	82,0	16,4	80	Нормальний	138
13	-	-	+	+	56,0	14,0	60	Нормальний	118
14	+	-	+	-	50,0	23,6	100	Нормальний	198
15	-	+	+	+	41,0	17,1	70	Нормальний	144
16	+	+	+	+	44,0	19,3	90	Нормальний	162

Статистичні характеристики при кернінннн, свердління і розгортанні для міжосьових розмірів представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – статистичні характеристики при керніннн, свердління і розгортанні для міжосьових розмірів (ω_B)

Номер ПФЕ	Фактори				Характеристики розподілення, мкм			Закон розсіювання	Поле розсіювання
	$I_{и}$	$d_{и}$	НВ	j	$\square X$	S	W		
1	-	-	-	-	44,4	22,0	100	Нормальний	185
2	+	-	-	-	35,0	22,6	100	Нормальний	190
3	-	+	-	-	62,5	21,9	90	Нормальний	184
4	+	+	-	-	51,1	25,0	100	Нормальний	210
5	-	-	+	-	37,0	25,2	100	Нормальний	212
6	+	-	+	-	65,0	26,5	115	Нормальний	223
7	-	+	+	-	46,0	23,3	100	Нормальний	196
8	+	+	+	-	58,9	23,6	90	Нормальний	198
9	-	-	-	+	52,7	15,5	70	Нормальний	130
10	+	-	-	+	41,3	14,64	100	Нормальний	207
11	-	+	-	+	73,8	16,66	70	Нормальний	140
12	+	+	-	+	82,3	19,0	75	Нормальний	160
13	-	-	+	+	95,0	15,8	65	Нормальний	133
14	+	-	+	-	56,8	26,8	125	Нормальний	225
15	-	+	+	+	65,8	21,0	80	Нормальний	169
16	+	+	+	+	85,9	23,2	95	Нормальний	195

Статистичні характеристики при кернінні, свердління і розгортанні для позиційних відхилень осей отворів (ω_0) на довжині 10 мм представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – статистичні характеристики при кернінні, свердління і розгортанні для позиційних відхилень осей отворів (ω_0) на довжині 10 мм

Номер ПФЕ	Фактори				Характеристики розподілення, мкм			Закон розсіювання	Поле розсіювання
	$l_{и}$	$d_{и}$	HВ	j	\bar{X}	S	W		
1	-	-	-	-	53,0	8,5	40	Ексцентриситету	62
2	+	-	-	-	66,5	8,6	40	Ексцентриситету	63
3	-	+	-	-	35,6	5,75	25	Ексцентриситету	42
4	+	+	-	-	100,8	13,15	70	Ексцентриситету	96
5	-	-	+	-	84,4	8,9	35	Ексцентриситету	65
6	+	-	+	-	76,6	13,7	65	Ексцентриситету	100
7	-	+	+	-	82,0	10,96	45	Ексцентриситету	80
8	+	+	+	-	50,0	12,3	50	Ексцентриситету	90
9	-	-	-	+	93,0	4,8	20	Ексцентриситету	35
10	+	-	-	+	35,0	7,3	25	Ексцентриситету	53
11	-	+	-	+	11,8	7,1	25	Ексцентриситету	52
12	+	+	-	+	21,1	7,45	30	Ексцентриситету	54
13	-	-	+	+	75,0	11,8	50	Ексцентриситету	86
14	+	-	+	-	83,0	13,15	55	Ексцентриситету	96
15	-	+	+	+	74,0	10,96	50	Ексцентриситету	80
16	+	+	+	+	99,2	13,15	50	Ексцентриситету	96

Побудуємо графіки полів розсіювання. Графік залежності полів розсіювання від бази після операції керніння представлений на рис. 1

Результати залежності міжосьових розмірів представлені на рис. 2.

Результати залежності полів розсіювання міжосьових розмірів після операції кернування – свердління представлені на рис. 3.

Кодовані значення чинників, що змінюються, визначаються [8] з наступних залежностей:

$$Z_1 = \frac{(\lg l - 1,954)}{0,15} \quad (8)$$

$$Z_2 = \frac{(\lg l_{и} - 1,653)}{0,15} \quad (9)$$

$$Z_3 = \frac{(\lg d_{и} - 0,778)}{0,3495} \quad (10)$$

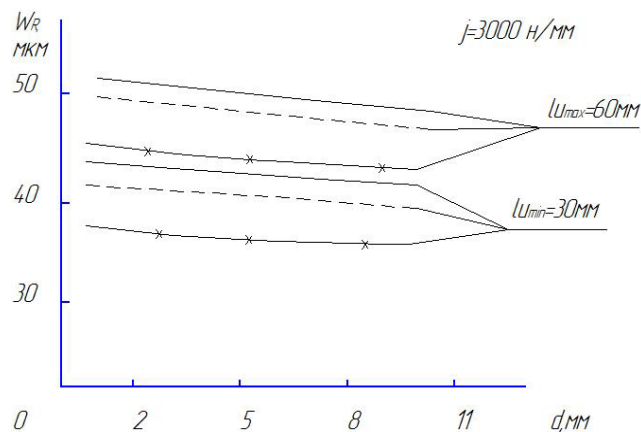


Рис. 1 – Залежність полів розсіювання від бази після керніння на агрегатних верстатах

$$Z_4 = \frac{(\lg HB - 3,243)}{0,389} \quad (11)$$

$$Z_5 = \frac{(\lg j - 3,462)}{0,398} \quad (12)$$

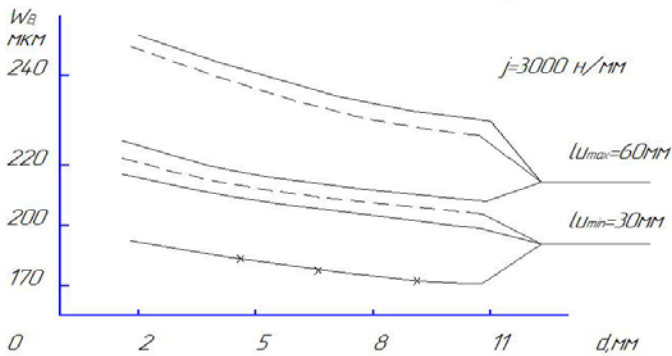


Рис. 2 – Графіки полів розсіювання міжосьових розмірів після керніння на агрегатних верстатах

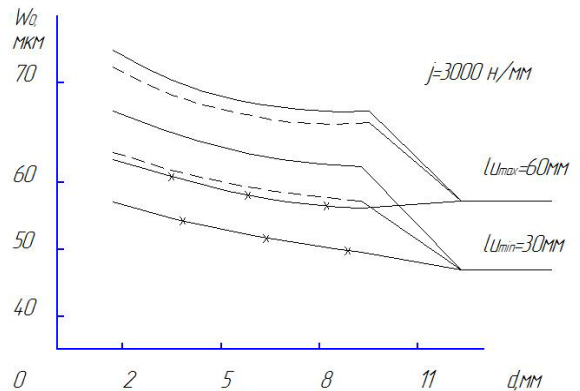


Рис. 3 – Графік полів розсіювання розмірів після кернування – свердління

Після математичної обробки результатів експериментальних досліджень отримані наступні рівняння оптимізації для розрахунку практичних полів розсіювання координованих розмірів:

з урахуванням кута при вершині керна:

$$w_R = 103,8 \frac{\alpha^{0,27} \cdot HB^{0,056}}{d_H^{0,016} \cdot j^{0,096}} \quad (13)$$

$$w_B = 81,3 \frac{\alpha^{0,29} \cdot HB^{0,051}}{d_H^{0,0125} \cdot j^{0,098}} \quad (14)$$

$$w_O = 3,45 \frac{\alpha^{0,25} \cdot HB^{0,307}}{d_H \cdot j^{0,051}} \quad (15)$$

з урахуванням вильоту ріжучого інструменту:

$$w_R = 96,6 \frac{l_H^{0,27} \cdot HB^{0,056}}{d_H^{0,016} \cdot j^{0,096}} \quad (16)$$

$$w_B = 76,3 \frac{l_H^{0,29} \cdot HB^{0,051}}{d_H^{0,0125} \cdot j^{0,098}} \quad (17)$$

$$w_O = 4,12 \frac{l_H^{0,25} \cdot HB^{0,307}}{d_H \cdot j^{0,051}} \quad (18)$$

Нижче в табл. 5 представлені питома вага факторів у залежностях (13-18).

Таблица 5 – Питома вага факторів

Поле розсіювання	Питома вага, %			
	l_H	d_H	HB	j
w_B	41	4	19	36
w_O	20	4	64	12
w_R	38	5	20	97

Висновок. На підставі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

-подібні порівняльні дослідження в практиці конструювання металорізального обладнання виконані вперше ;

-отримані емпіричні залежності для розрахунку практичних полів розсіювання розмірів від бази і позиційних відхилень осей оброблюваних отворів ;

-точність розташування лунок при ударному кернінні вище, ніж при безударному від пневмоприводу. Це пояснюється наявністю вихідних геометричних погрешностей в технологічній системі ;

-ударне керніння забезпечує розсіювання розмірів у межах від 0,05 мм до 0,075 мм, цілком може бути використано як перший перехід перед подальшому свердлінні отворів від 1 мм до 6 мм.

Емпіричні залежності для розрахунку координованих розмірів виведені для технологічних систем, що містять головки булані, силові столи та бабки, а також розточувальні головки, тому що кожна з перерахованих систем має різну жорсткість. Досліджений вплив кожного з істотних факторів на точність координованих розмірів: способу керніння (ударний або безударний), величини кута при вершині керна, твердості матеріалу, діаметра свердла та ін.

Список літератури: 1. Исследование актов определяющих точность обработки деталей на агрегатных станках ХПО. Раздел 1: Отчет о НИР (промежуточ.) [Текст] / УЗПИ -№ ГР 0182802662 // Инв. №02840041668. – Харьков, 1983. 2. Исследование надежности технологических систем агрегатных станков: Отчет о НИР (промежуточ.) [Текст] / УЗПИ - № ГР 01860121817 // Инв. №02890018571. – Харьков, 1988. 3. Бирюков, В. Д. Методы обработки резанием круглых отверстий [Текст] / под ред. В. Д. Бирюкова. – Машиностроение, 1989. – С. 124–155. 4. Душинский, В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении [Текст] / В. В. Душинский; под. ред. Г.Э. Таурита. – Киев, Техніка, 1977. – С. 85–90. . Карцев, П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента [Текст] / П. Г. Карцев. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 192–230. 6. Колкер, Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей [Текст] / Я. Д. Колкер. – К.: Техніка, 1976. – 200 с. 7. Солонин, И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения [Текст] / И. С. Солонин. – М.: Машиностроение, 1972. – С 150–185. 8. Odom, P. R. Nomographs for computer simulation [Text] / P. R. Odom, R. E. Shannon // Industrial Engineering. – 1973. – Vol. 5, № 11. – P. 603–614.

Bibliography (transliterated): 1. Issledovanie aktov opredel'ajushhih tochnost' obrabotki detalej na agregatnyh stankah НРО. Razdel 1: Otchet o NIR (promezhutoch.) (1983). UZPI -№ GR 0182802662. Inv. №02840041668. Kharkov. 2. Isledovanie nadezhnosti tehnologicheskikh sistem agregatnih stankov: Otchet o NIR (promezhutoch.) (1988). UZPI - № GR 01860121817. Inv. №02890018571. Kharkov. 3. Birjukov, V. D. (1989). Metody obrabotki rezaniem kruglyh otverstij. Mashinostroenie, 124–155. 4. Dushinskij, V. V. (1977). Optimizacija tehnologicheskikh processov v mashinostroenii. Kiev, Tehnika, 85–90. 5. Karcev, P. G. (1974). Statisticheskie metody issledovanija rezhushhego instrumenta. Mashinostroenie, 192–230. 6. Kolker, Ja. D. (1976). Matematicheskij analiz tochnosti mehanicheskoy obrabotki detalej. Tehnika, 200. 7. Solonin, I. S. (1972). Matematicheskaja statistika v tehnologii mashinostroenija. Mashinostroenie, 150–185. 8. Odom, P. R., Shannon, R. E. (1973). Nomographs for computer simulation. Industrial Engineering, Vol. 5, № 11, 603–614.

Надійшла (received) 25.05.2014

В. Г. ЛЕБЕДЕВ, д-р техн. наук, проф., ОНПИ, Одесса;
Н. Н. КЛИМЕНКО, канд. техн. наук, доц., ОНПИ, Одесса;
Т. В. ЧУМАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., ОНПИ, Одесса

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НЕКОТОРЫХ НАПЛАВЛЕННЫХ И НАПЫЛЕННЫХ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ СТАЛЕЙ, СПЛАВОВ И ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (Часть 2)

Рассмотрены закономерности изменения фазово-структурного состояния наплавленного или напыленного слоя на рабочих поверхностях деталей машин в зависимости от температуры шлифования. Показано, что температура шлифования может оказывать негативное влияние на надежность и долговечность однофазных сталей и сплавов, не испытывающих фазовые превращения. Даны рекомендации по выбору безопасного температурного режима при различных видах шлифования.

Ключевые слова: наплавленный слой, напыленный слой, температура шлифования, рациональные температуры шлифования.

Введение. В настоящее время разработаны наплавочные и напыляемые материалы и способы их нанесения

Главным недостатком, как процесса наплавки, так и процесса напыления является то, что после этих процессов необходима дополнительная высокоточная механическая обработка, в частности, в большинстве случаев процесс шлифования.

При шлифовании создаются определенные риски потери качества поверхностного слоя из-за фазовых и структурных превращений, вызываемых высокой контактной температурой шлифования.

Цель работы. Определение рациональной температуры шлифования как температуры, которая не вызывает изменения фазово-структурного состава поверхностного слоя шлифуемой заготовки.

Основная часть. В настоящей работе рассматривались рациональные температуры шлифования для значительной части материалов, подвергающихся шлифованию.

Ферритные стали типа 08X13, X25, 15X25T имеют структуру феррита во всем диапазоне температур шлифования. При нагреве этих сталей до 350-540 °С развивается расслоение α раствора, что приводит к так называемой 475° хрупкости / 5 /. При нагреве в интервале 550-850 °С возможно выделение σ фазы, что снижает пластичность и коррозионную стойкость, после нагрева в интервале 1000-1200 °С эти стали приобретают склонность к межкристаллитной коррозии (рис. 1).

Необходимо отметить, что указанные явления возможны при достаточно длительной выдержке - шлифование врезное, разрезание, чашечным кругом. Поэтому при таких видах шлифования необходимо поддерживать температуру в интервале 870-950 °С. При прочих видах шлифования эти стали можно

шлифовать без ограничений по температуре.

Аустенитные стали могут быть разделены на три группы – твердые растворы неупрочняемые, твердые растворы с интерметаллидным и карбидным упрочнением, такие как 12X18H10T, 45X14H14B2M, 10X11H20T3P.

При нагреве неупрочняемых аустенитных сталей до температуры 550 - 800 °С они приобретают склонность к межкристаллитной коррозии. Для видов шлифования

обеспечивающих большую тепловую выдержку металла, при шлифовании этот температурный диапазон необходимо исключить. Таким образом, при указанных видах шлифования рациональными температурами будут температуры выше 800 °С или ниже 550 °С.

Аустенитные стали с карбидным упрочнением и интерметаллидным упрочнением подвергают закалке от 1200 °С, а затем старению при температуре 600 - 850 °С. В результате старения выделяются упрочняющие дисперсные карбидные или интерметаллидные фазы. Оптимальная температура шлифования таких сталей будет находиться ниже уровня коагуляции упрочняющих фаз, то есть температура шлифования должна соответствовать температуре старения. ПНП-стали – новый класс аустенитных сталей, обладающих пластичностью наведенной превращением, откуда и происходит сокращенное название ПНП, Эти стали содержат до 0,3 % углерода, до 10 % хрома и до 25 % никеля. Кроме того эти стали легируются молибденом и марганцем. Особенностью этих сталей является то, что точка начала мартенситных превращений M_n находится в области отрицательных температур, а точка образования мартенсита деформации находится в области положительных температур. Для получения высоких механических свойств сталь закаливают от температуры 1110 °С на аустенит и подвергают деформационному старению, т.е. деформируют при температуре 450-600 °С. При этом аустенит обедняется углеродом за счет выделения карбидов. После такой обработки стали обладают очень высокой прочностью - до 2000 МПа и одновременно высокой пластичностью. Температура шлифования таких сталей должна быть такова, чтобы не был снят наклеп в результате рекристаллизации и, чтобы не произошла коагуляция карбидов. Если рассматривать не железоуглеродистые сплавы, то шлифованию наиболее часто могут подвергаться заготовки из титановых сплавов и заготовки из алюминиевых сплавов. Титан существует в двух кристаллических модификациях - α с решеткой ГПУ и β с решеткой ОЦК, Температура аллотропического превращения составляет 882 °С. В промышленности применяются в основном сплавы титана. Такие легирующие элементы как алюминий, кислород, азот повышают температуру полиморфного превращения и называются α стабилизаторами. Такие легирующие элементы как

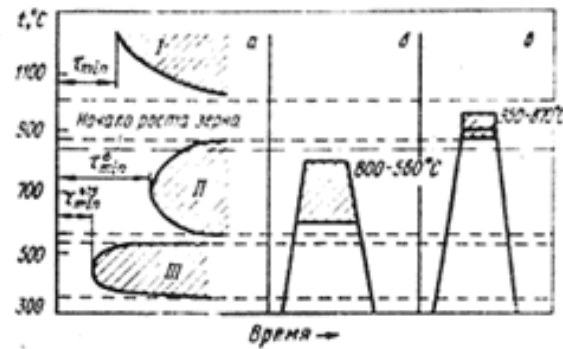


Рис. 1 – Влияние температуры нагрева на свойства ферритных сталей: III - 475° хрупкость, II - выделение σ фазы, I – МКК / 1 /

молибден, ванадий, марганец, хром, железо понижают температуру полиморфного превращения и называются β стабилизаторами. В зависимости от сочетания легирующих элементов в технике наибольшее распространение получили α сплавы и $\alpha+\beta$ сплавы. Отличительной особенностью титановых сплавов является то, что они при температуре выше 500 °С интенсивно поглощают водород, который приводит к водородной хрупкости.

α сплавы не подвергаются упрочняющей термической обработке, а подвергаются деформационному упрочнению. Температура шлифования этих сплавов должна быть ниже уровня 500°С для предотвращения водородной хрупкости и ниже температуры рекристаллизации, для того чтобы избежать как охрупчивания, так и разупрочнения поверхностного слоя. Температурный уровень ниже 500 °С обеспечивает выполнение обоих условий.

Сплавы $\alpha + \beta$ термически упрочняемые и испытывают при нагреве полиморфные превращения. В зависимости от количества стабилизаторов температура полиморфного превращения может быть ниже 500 °С. После термической обработки, которая заключается в закалке и старении, сплав имеет структуру мелкодисперсных частиц α и β фаз. При нагреве температурой шлифования выше точки эвтектоидного превращения и при быстром охлаждении, образуется мартенситная β фаза - мартенсит с искаженной гексагональной решеткой, α'' с ромбической решеткой и очень хрупкая ω фаза, представляющая собой интерметаллидное соединение титана и легирующего элемента. Указанные фазы при нормальной температурной обработке уничтожаются при старении. После шлифования старение не производится, и поверхностный слой детали имеет фазовый состав искаженный. Указанные фазы повышают хрупкость и снижают прочность поверхностного слоя. Следовательно, при шлифовании $\alpha + \beta$ титановых сплавов необходимо, чтобы температура была ниже не только 500 °С, но и температуры полиморфного превращения, если эта температура ниже 500 °С. Температура полиморфного превращения может быть определена по рис. 2.

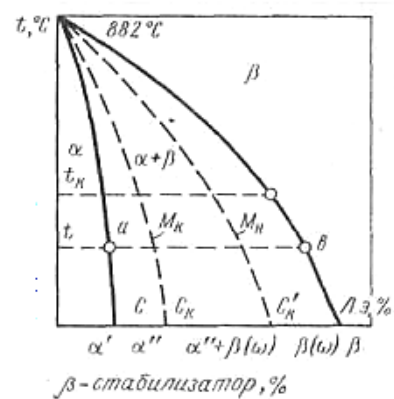


Рис. 2 – Температура полиморфного превращения $T_{\alpha - \beta}$ в зависимости от β стабилизаторов /2/

Задача шлифования алюминиевых сплавов возникает редко. Однако в тех случаях, когда детали из этих сплавов подвергают шлифовке, необходимо помнить, что они также чувствительны к температуре шлифования.

Алюминиевые сплавы на основе марганца или магния не упрочняются термической обработкой, а подвергаются деформационному упрочнению. Температура шлифования этих сплавов должна быть ниже температуры рекристаллизации для предотвращения разупрочнения поверхностного слоя. Таким образом, рациональная температура при шлифовании таких сплавов должна быть ниже 500 °С.

Сплавы, упрочняемые термической обработкой – дуралюмины представляют

собой сплавы системы Al–Cu–Mg. Они подвергаются закалке и старению. Упрочнение происходит за счет надления мелкодисперсных частиц β фазы CuAl₂. Рациональной температурой шлифования будет температура ниже температуры закалки дуралюминов, так как в противном случае произойдет закалка без последующего старения, что повлечет за собой снижение прочности поверхностного слоя. Рациональной температурой будет температура ниже 500 °С. Во многих отраслях техники сейчас уделяется большое внимание композиционным материалам, в которых карбиды либо другие тугоплавкие соединения являются армирующими включениями в более пластичном основном материале. Одним из наиболее прогрессивных способов получения таких композиционных покрытий является высокотемпературное напыление плазменной струей.

Наилучшими свойствами по износостойкости и долговечности обладают поверхности полученные путем плазменного напыления двухоболочковым композиционным плакированным порошком TiC-NiP-Cu.

Как и шлифование деталей из однородных материалов, шлифование деталей с композиционными покрытиями так же сопровождается значительным тепловым и механическим воздействием на обрабатываемую поверхность.

Особенность шлифования таких покрытий заключается в том, что покрытие и подложка являются разнородными материалами, а, следовательно, их основные теплофизические и упругие характеристики, такие как теплопроводность, коэффициенты теплового линейного расширения, температуропроводности, модули упругости резко различны. В результате, на границе покрытие-подложка возникают значительные температурные напряжения, которые приводят к отслоению покрытия и к трещинам самого покрытия.

Если температура шлифования ниже температуры рекристаллизации, что для плазменного композиционного TiC-NiP-Cu-покрытия составляет 390÷400 °С (с учетом скоростного нагрева этот порог повышается до 550°С), то образуется наклепанная структура поверхностного слоя матрицы, которая характеризуется дробленными и пластически-деформированными зернами, вытянутыми в направлении пластической деформации, причем, чем больше радиусы закругления абразивных зерен, тем больше пластическая деформация зерен и тем больше степень наклепа. Это явление приводит к упрочнению матрицы и появлению в ней сжимающих остаточных напряжений. В принципе это повышает прочность и твердость матрицы, что приводит к повышению износостойкости поверхностного слоя. С другой стороны более высокие температуры шлифования могут снять наклеп и образовать растягивающие остаточные напряжения, приводящие к трещинам напыленного слоя, что резко снизит износостойкость и коррозионную стойкость.

Следовательно, верхний предел температур шлифования при обработке металлокерамических напыленных покрытий составляет 450 - 550°С.

Одним из наиболее эффективных способов упрочнения может быть напыление на рабочие поверхности деталей износоустойчивого поверхностного минералокерамического слоя. Необходимая точность (6 квалитет) и шероховатость поверхности Ra=0,63...0,32 (8в - 9а класс) достигается при

шлифовании напыленной минералокерамики кругами из кубического нитрида бора (КНБ). Однако даже при малопроизводительных режимах обработки напыленный минералокерамический слой склонен к образованию трещин.

Экспериментально и теоретически установлено, что основной причиной образования трещин в керамических покрытиях при шлифовании являются контактные температуры, которые обеспечивают мгновенное неравномерное нагревание и охлаждения поверхности, в результате чего возникают растягивающие напряжения, которые превышают допустимые. Для керамики Al_2O_3 при глубине шлифования $t = 0,01$ и $0,03$ мм величина растягивающих напряжений может превышать предел прочности на 80 - 200 %.

Рекомендации по рациональным температурам шлифования даны в табл. 1.

Таблица 1–Рациональные температуры шлифования

№	Вид материала	Характерные марки	Рациональные температуры
1.	Ферритные стали	08X13; X25	Температурный интервал 550 - 850°C или ниже 350 °C
2.	Аустенитные стали а) аустенитные неупрочняемые стали б) аустенитные стали с карбидным и с интерметаллидным упрочнением	12X18H10T; 45X14H14B2M; 10X11;20T3P	Меньше 600 °C Больше 800 °C Ниже температуры коагуляции упрочняющих фаз
3.	Титановые сплавы а) α сплавы б) $\alpha + \beta$ сплавы	BT5; BT5-1; BT6; BT22	Ниже температуры водородной хрупкости (<500°C) Ниже температуры полиморфного превращения
4.	Алюминиевые сплавы а) термически не упрочняемые б) термически упрочняемые	АМц; АМг2 Д16; АВ; В95	Ниже температуры рекристаллизации Ниже температуры закалки
5.	Металлокерамические покрытия	TiC-NiP-Cu.; WC-NiP-Cu	Не выше температуры 500 - 550 °C
6.	Минералокерамические покрытия а) не модифицированные б) модифицированные WC; TiC; C	Al_2O_3 ; Zr_2O_3 ; Cr_2O_3	<400 °C до 600 °C

Предложены смеси модифицированных керамических слоев (%): (70...90) Al_2O_3 (или Cr_2O_3 , или TiO_2) и (30...10)C; или (70...90) Al_2O_3 (или Cr_2O_3 , или TiO_2) и (30...10) TiC; или (70...90) Al_2O_3 (или Cr_2O_3 , или TiO_2) и (30...10) WC; или (70...90) Al_2O_3 (или Cr_2O_3 , или TiO_2) и C, TiC, WC в разных соотношениях (30..10), которые уменьшают в 3-4 раза вероятность появления трещин в упрочненных поверхностных слоях.

При шлифовании напыленных керамических слоев температура, как правило, не должна превышать интервал 400 – 450 °C. При шлифовании

керамических слоев модифицированных карбидом вольфрама, титана и чистым углеродом температура может быть повышена до 600 °С.

Выводы. В реальных условиях шлифования необходимо, хоть и весьма трудно, реализовать поддержание температуры шлифования на определенном уровне. Ориентировочные значения оптимальных температур для различных сталей и сплавов приведены в табл. 1.

Список литературы: 1. *Лахтин Ю. М.* Материаловедение и термическая обработка металлов / Ю. М.Лахтин// М.; Металлургия. - 1984.- 360 с. 2. *Кидин И. Н.* Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали / И. Н. Кидин // М.: Металлургия. - 1975. - 312 с. 3. *Редько С. Г.* Процессы теплообразования при шлифовании металлов / С. Г. Редько// Саратов: Саратовский университет, - 1962. —231 с. 4. *Чирков Т. В.* Математическое моделирование режимов резания при обработке материалов абразивными инструментами / Т. В. Чирков // Технология машиностроения. — 2004. — № 6. — С. 58—62. 5. *Корчак С. Н.* Теория обрабатываемости сталей и сплавов при абразивной обработке / С. Н. Корчак.// Вестник Южно-Уральского государственного университета: Машиностроение.- 2003. — № 4. 6. *В. Г. Лебедев., Н. Н. Клименко; С. А. Аль-Аджелат.* Механизм образования прижогов при шлифовании деталей из закаленных сталей./ В. Г. Лебедев., Н. Н. Клименко; С. А. Аль-Аджелат //- Наукові нотатки. Науковий збірник ЛНТУ, Випуск 40, Луцьк . - 2013. с.141 – 144. 7. *В. Г. Лебедев, Т. В. Чумаченко.* Исследование остаточных напряжений керамического слоя напыленного на валы турбин при шлифовании кругами из КНБ./ В. Г. Лебедев, Т. В. Чумаченко // Наукові нотатки. Науковий збірник ЛНТУ, Випуск 40, Луцьк - 2013.с.144 – 150

Bibliography (transliterated): 1. *Lahtin M.* (1984) Materials and heat treatment of metals. Moscow: Metallurgy. 360. 2. *Kidin I.* (1975) Phase transitions with accelerated heating steel. Moscow: Metallurgy. 312. 3. *Red'ko S. G.* (1962) Processes of heat buildup when grinding metal . Saratov: Saratov State University, 231 4. *Chirkov T.*(2004) Mathematical modeling of cutting material processing abrasive tools .Mechanical Engineering Technology. № 6. 58-62. 5. *Korchak S. N.* (2003) Theory of machinability of steels and alloys under abrasion Bulletin of the South Ural State University: Engineering, 4. 6. *Lebedev V., Klimenko N.; Al-Adzhelat S.* (2013) The mechanism of formation of burns when grinding parts made of hardened steels. Lutsk: Naukovi notatki. LNTU, Preview Issue 40. 141 - 144. 7. *Lebedev V., Chumatchenko T.*(2013). Investigation of residual stresses on the ceramic layer sprayed turbine shafts for grinding wheels made of CBN. Lutsk. Naukovi notatki LNTU, Preview Issue 40,144 – 150

Поступила (received) 12.05.2014

УДК 621.785.53

В. О. КОСТИК, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП»;

К. О. КОСТИК, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП»;

ВИВЧЕННЯ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТУ ДИФУЗІЇ ВУГЛЕЦЮ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ 20Х

Розглянуто один з методів цементації сталі 20Х з детальним вивченням зміни коефіцієнту дифузії вуглецю залежно від температури хіміко-термічної обробки. На основі експериментальних даних виведені математичні моделі товщини загального дифузійного шару та кожної її зони від температури цементації в діапазоні 800–950 °С. Отримані математичні моделі коефіцієнтів дифузії вуглецю від глибини дифузійного шару в діапазоні температур від 800 до 950 °С.

Ключові слова: сталь, вуглець, цементація, дифузійний шар, глибина шару, мікротвердість, коефіцієнт дифузії.

© В. О. КОСТИК, К. О. КОСТИК, 2014

Вступ. Цементация є одним з найбільш ранніх процесів обробки металів. Ще в стародавні часи була відома здатність вуглецю проникати всередину м'якого заліза. У той час цементация вуглецем застосовувалася головним чином у промислових цілях. Цим способом користувалися для перетворення заліза в сталь шляхом томління при тигельному процесі. У більш пізній час у зв'язку з появою досконаліх і більш дешевих способів одержання сталі цементация як металургійний процес втратила своє значення.

В кінці XIX і особливо в XX столітті цементация знову судилося зайняти місце в обробці металів. З розвитком низки нових галузей промисловості (автомобільної, тракторної, авіаційної та ін.) цементация одержала поширення як технологічна операція зміцнення поверхневих шарів деталей машин.

Найбільше застосування цементация отримала для деталей, що працюють на знос і зазнають на поверхні великі питомі тиску. До таких деталей можна віднести шестерні коробки швидкостей, поршневі пальці і розподільні вали двигунів, різноманітні валики, втулки, пальці та ін.

Ці деталі, будучи виготовлені з маловуглецевої сталі без цементация, прийшли в непридатність буквально через кілька десятків годин роботи, тому що сталь з малим вмістом вуглецю (близько 0,2 %) не отримує високу твердість після гартування. Будучи виготовлені з високовуглецевої сталі (0,8–0,9 % C), ці деталі мали б після гартування високу твердість по перерізу і виходили б з ладу через крихке руйнування. Для ряду деталей потрібна наявність твердої поверхні і в'язкої серцевини, що досягається хіміко-термічною обробкою – цементацияю, забезпечує різний вміст вуглецю в зовнішніх і внутрішніх шарах деталі [1].

Аналіз публікацій. Цементация – поширений вид хіміко-термічної обробки сталевих деталей, при якому відбувається насичення поверхні вуглецем.

Для цементация використовують маловуглецеві (0,15–0,30 % C) нелеговані та леговані сталі марок 15, 20, 25, 15X, 20X, 20XH, 12XH3A, 18XGT, 20XHM, 20XGR та ін. Крупногабаритні деталі відповідального призначення виготовляють із легованих сталей з підвищеним вмістом вуглецю (0,25–0,30 %) – 25XGM, 30XGT, 30XGHM та ін. [1, 2].

Температура цементация вище A_{C3} для забезпечення переходу сталі в аустенітний стан, оскільки в аустеніті може розчинитися значна кількість вуглецю, на відміну від фериту, в якому розчинюється не більше 0,03 % C.

Як правило, процес цементация здійснюється при 930–950 °C. Така температура забезпечує і утворення аустеніту, і достатньо інтенсивне проходження дифузії. Температура вище 950–960 °C спричиняє зростання зерен аустеніту, а це погіршує в'язкість сталі. З метою прискорення процесу цементация іноді підвищують температуру нагріву до 1000–1100 °C, але такий режим можна використовувати тільки для спадково дрібнозернистих сталей.

Залежно від речовини для науглецьовування (карбюризатора) розрізняють три види цементация: тверду (у разі застосування твердого карбюризатора – вугілля і вуглекислі солі), газову (у разі застосування як карбюризатора спеціального газу) і рідку (в розплавлених солях).

Мета роботи. Метою науково-дослідної роботи є вивчення зміни коефіцієнту дифузії вуглецю залежно від температури цементация легованої сталі

20X.

Методика експерименту. Перед цементациєю поверхню зразків очищали від слідів окалини, іржі, змащення та інших забруднень. Незначні забруднення видалили 96 %-им спиртом. Цементацию проводили у твердому карбюризаторі.

Підготовлені до цементациї зразки упаковували в контейнер у наступному порядку. На дно контейнера насипали шар карбюризатора завтовшки 30–40 мм. Зразки укладали на цей шар з відстанню між ними 15–20 мм і на відстані 20–30 мм від стінок контейнера. При багат шаровому укладанні по висоті один шар зразків відокремлювали від іншого шаром карбюризатора товщиною не менше 25 мм. Верхній шар зразків засипали шаром карбюризатора завтовшки 30–40 мм.

Контейнер з упакованими зразками закривали кришкою і обмазували вогнетривкою глиною, яку просушували добу. Потім контейнер ставили в камерну піч і нагрівали до заданих температур цементациї, витримували дві години з наступним повільним охолодженням разом з піччю. Температури цементациї варіювали від 800 до 950 °С з шагом 50 °С. Зразки після цементациї піддавалися гартуванню та низькому відпуску.

Робоча суміш для цементациї була наступного складу: 25 % свіжого карбюризатора (деревновугільного) і 75 % (за обсягом) карбюризатора, який вже був використаний (відпрацьований), та додавали активатори: вуглекислий барій (BaCO_3) і кальциновану соду (Na_2CO_3) в кількості 10–15 % від маси вугілля. Відпрацьований карбюризатор попередньо відсіювався для видалення дрібних фракцій та пилу.

Обговорення результатів. Властивості цементованого шару великою мірою залежать від кривої розподілу вуглецю по товщині шару (рис. 1).

Прийнято криву розподілу вуглецю по товщині шару характеризувати концентрацією вуглецю на поверхні ($C_{\text{пов}}$), падінням вмісту вуглецю на відстані, рівній $1/3$ частини ефективної товщини шару, і наявністю зневуглецьованої ділянки на поверхні виробу.

У більшості випадків для отримання високого опору зношуванню, крихкому руйнуванню, втому при згинанні концентрація вуглецю в поверхневому шарі повинна бути в межах 0,8–1,0 %.

Для підвищення опору контактної втоми вміст вуглецю може бути підвищений до 1,0–1,1 %. Більш високі концентрації вуглецю на поверхні викликають погіршення механічних властивостей. Щоб гарантувати заданий допуск на шліфування без істотної втрати твердості і високі механічні властивості, градієнт вуглецю по товщині не повинен бути різким, особливо в області, що примикає до поверхні насичення [3].

Зневуглецьовання на поверхні (зниження концентрації вуглецю) погіршує механічні властивості і не допускається.

Для отримання необхідної кривої розподілу вуглецю по товщині шару $C(x)$ необхідно правильно підбирати і з достатньою точністю підтримувати основні

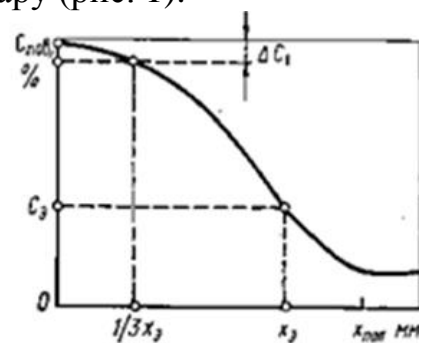


Рис. 1 – Розподіл вуглецю по товщині цементованого шару

технологічні параметри процесу цементації (температуру, тривалість насичення, активність атмосфери тощо).

Остаточні властивості цементованих виробів досягаються в результаті термічної обробки після цементації. Цією обробкою можна виправити структуру і подрібнити зерно серцевини і цементованого шару, яке неминуче збільшуються під час тривалої витримки при високій температурі цементації, отримати високу твердість у цементованому шарі і хороші механічні властивості серцевини; усунути карбідну сітку в цементованому шарі, яка може виникнути при насиченні його вуглецем до заевтектоїдної концентрації [4].

Після цементації застосовувалося гартування з повторного нагрівання до температури вище A_{C3} серцевини. Заключною операцією термічної обробки цементованих виробів є низький відпуск при 160–180 °С, який переводить мартенсит гартування в поверхневому шарі в відпущений мартенсит, знімає напруження і покращує механічні властивості.

В результаті термічної обробки цементований шар має структуру дрібногочастого мартенситу та ізольованих ділянок залишкового аустеніту (15–20 %) або мартенситу, залишкового аустеніту і невеликої кількості надлишкових карбідів.

Максимальна працездатність відповідальних деталей типу шестерень може бути забезпечена тільки при отриманні мартенсито-аустенітної структури з певним рівнем міцності по всій заданій товщині зміцненого шару.

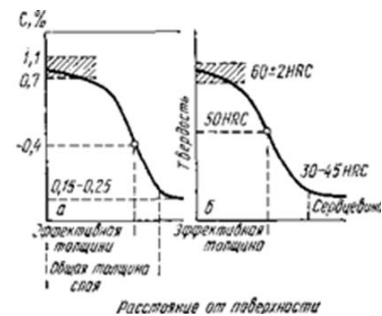
Структура серцевини обумовлена складом сталі і прийнятим режимом гартування. Низьковуглецевий мартенсит забезпечує підвищену міцність і достатню в'язкість серцевини. Не допускається виділення в серцевині фериту, що викликає зниження міцності, пластичності і в'язкості цементованого виробу.

При цементації частіше контролюють не загальну, а ефективну товщину шару [5]. В якості базового параметра приймають мікроструктуру або твердість (рис. 2).

На практиці за ефективну товщину шару приймають або товщину до половини доевтектоїдної зони, що відповідає ~0,4 % С, або до перших ділянок фериту; товщину шару визначають на відпалених зразках. Іноді товщину шару оцінюють наближено по зламу.

В останні роки ефективну товщину шару визначають по твердості після гартування і відпуску. Цей базовий параметр є критерієм якості не тільки цементації, але і подальшої термічної обробки. Величина ефективної товщини цементованого шару при однакових умовах насичення залежить від прогартуваності шару, а отже, від складу сталі, точніше складу аустеніту перед гартуванням. Чим вище прогартуваність, тим більше товщина ефективного шару. Ефективна товщина відповідає зоні шару від поверхні до насичення межі зони з твердістю HRC 50 або HV 550.

На рисунку 3 приведена залежність товщини дифузійного шару сталі 20Х від



температури цементації з пічним нагріванням протягом 120 хвилин. З підвищенням температури товщина загального шару та кожної зони збільшується згідно рівнянь, наведених на рисунку 3. Ці рівняння – математичний аналіз експериментальних даних методом апроксимації поліномом третього ступеня.

Таким чином, отримані математичні моделі товщини загального дифузійного шару та кожної зони цементаційного шару в діапазоні від 800 до 950 °С з перевіркою адекватності моделі за коефіцієнтом кореляції (R). При температурах до 850 °С дифузійний шар, як і його складові, збільшуються незначно, при подальшому підвищенні температури – темп отримання шарів значно прискорюється. Як і очікували, найменша товщина шару відповідає першій зоні – заевтектоїдній, найбільша зона – доевтектоїдній.

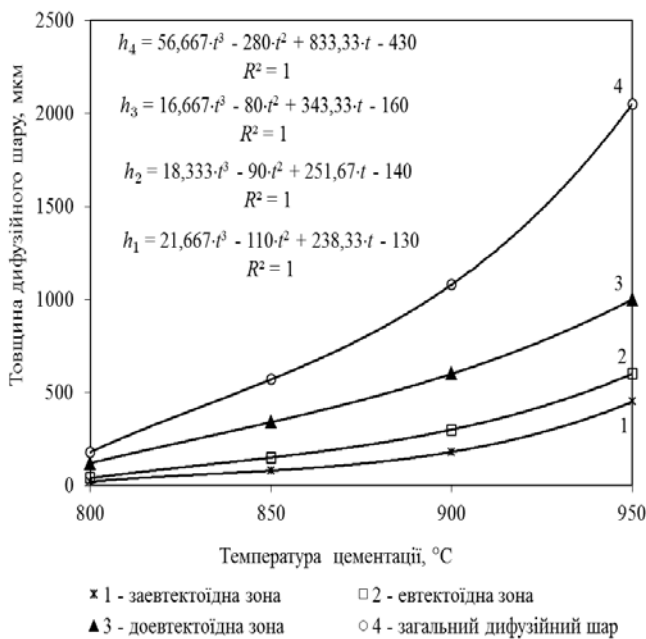


Рис. 3 – Залежність товщини дифузійного шару сталі 20Х від температури цементації з пічним нагріванням протягом 120 хвилин

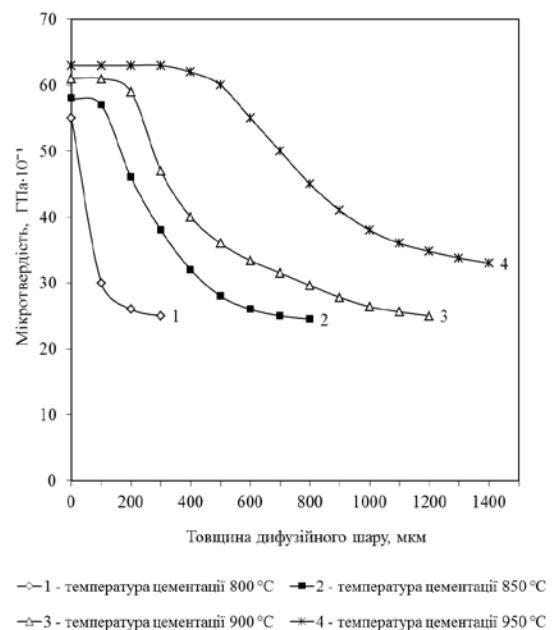


Рис. 4 – Розподіл мікротвердості в дифузійних шарах сталі 20Х після цементації з пічним нагріванням протягом 120 хвилин при різній температурі обробки

Розподіл мікротвердості в дифузійних шарах зображений на рисунку 4. Мікротвердість поверхні змінюється від 5,5 до 6,3 ГПа при підвищенні температури від 800 до 950 °С відповідно. Характер кривих стає більш пологим при підвищенні температури. Горизонтальна ділянка в діапазоні температур 5,5–6,3 ГПа відповідає заевтектоїдній зоні цементованого шару.

В практичних розрахунках процесів ХТО необхідно знати значення параметрів, що входять в рівняння, які описують окремі стадії ХТО. До таких параметрів відносяться коефіцієнти дифузії та масопереносу, активність дифузійного елемента в дифузійній зоні, потенціал і активність насичуючого середовища.

Коефіцієнт дифузії – це основний параметр, що характеризує кінетику

дифузійного насичення. Зазвичай коефіцієнт дифузії визначають за експериментальним розподілом концентрації дифундуючого елемента по товщині шару $s(x, \tau)$ або аналізують кількість дифузійної речовини у зразках в функції часу. Коефіцієнт дифузії для практичних розрахунків можна визначити для стаціонарних умов хіміко-термічної обробки по товщині дифузійного шару.

Як показали численні дослідження, всі структурні дефекти – вакансії, границі зерен та субграниці, зовнішня поверхня, дислокації та ін. впливають на дифузійну рухливість атомів. При ХТО реалізується як об'ємна дифузія (в товщі кожного зерна), яка дає основний внесок в дифузійний потік, так і дифузія по границях зерен. Дифузія уздовж границь зерен відбувається з набагато більшою швидкістю, ніж в об'ємі зерна. Це пояснюється тим, що висококутові кордони незалежно від їх фізичної моделі містять підвищену концентрацію вакансій і порушень періодичності розташування атомів. Це збільшує ймовірність атомних переходів і зменшує енергію активації дифузії.

Вплив границь зерен особливо велике при низьких температурах дифузії. При високих температурах $(0,85-0,95 \cdot T_{пл})$ роль границь у загальному дифузійному потоці порівняно невелика. На швидкість дифузії по границях зерен значно впливає взаємне розорієнтування зерен та їх величина. Таким чином, чим дрібніше зерно, тим більше протяжність границь, тим швидше відбувається дифузія і при інших рівних умовах товщина дифузійного шару виявляється більшою.

Оскільки границі зерен, мабуть, є основними постачальниками вакансії в металах, подрібнення зерна повинно приводити до збільшення числа вакансії і полегшувати дифузію в об'ємі зерна елементів заміщення. Аналогічний вплив надає пластична деформація, опромінення важкими частинками з великою енергією (нейтрони, протони та ін.). Відсмоктування елемента, який дифундує по границях зерен в обсяг зерен (так званий бічний потік), здійснюється за механізмом об'ємної дифузії, а для елементів заміщення і вздовж дислокацій.

При проведенні ХТО слід також враховувати, що гетеродифузія по границях зерен протікає в середовищі, що відрізняється не лише за структурою, а й за складом від тіла зерна. Швидкість дифузії по границях зерен суттєво може змінити горючі (поверхнево-активні) легувальні елементи. Змінюючи склад твердого розчину в міжкристалітних з'єднаннях, вони можуть прискорити або, навпаки, уповільнити міжкристалітну дифузію. Оскільки міжкристалітна дифузія визначає загальну швидкість насичення полікристалічного металу, то міжкристалітна сегрегація без виділення виявляється важливим фактором, що визначає цю швидкість. При ХТО міжкристалітна сегрегація без виділення легувальних елементів визначає і загальну швидкість росту дифузійного шару, і характер його будови.

Багато дослідників вважають, що прискорення дифузії по границях зерен має місце тільки для елементів, що дифундують по вакансіях, наприклад хрому. Однак прямими експериментами показана переважна дифузія по висококутовим кордонам і домішкам впровадження. Так, наприклад, методом авторадіографії було показано прискорюючий вплив границь зерен на дифузію вуглецю ^{14}C у фериті і аустеніті.

С. З. Бокштейн вважає, що ефект прискорення дифузії вуглецю по границях зерен фериту пов'язаний з малою розчинністю його в залізі і високою щільністю дефектів на границі. Дифузійна рухливість вуглецю в дрібнозернистому аустеніті при 940–980 °С вище, ніж в грубозернистому. Енергія активації в дрібнозернистому аустеніті відповідно менше, ніж у грубозернистому [4–6].

При порівняно високих температурах, при яких здійснюють поверхневе насичення сталі вуглецем і різними металами, різниця в швидкості і граничній об'ємної дифузії зазвичай не надто велика. Більш часто гранична дифузія спостерігається при насиченні сталі азотом, яке виконується при порівняно низьких температурах.

Великий практичний і теоретичний інтерес представляє вплив дислокацій на процес гетеродифузії. Зараз більшість дослідників вважають, що принаймні крайові дислокації збільшують швидкість пересування атомів при самодифузії і гетеродифузії атомів заміщення.

Роль дислокаційної структури як шляхи полегшеної дифузії головним чином виявляється спостереженнями переважної дифузії вздовж малокутових границь, для яких найбільш доцільна дислокаційна модель. Коефіцієнт самодифузії вздовж дислокаційних трубок може бути на кілька порядків вище, ніж коефіцієнт дифузії в кристалічній решітці.

Величина напружень зазвичай перевищує необхідні для генерування джерел розмноження дислокацій, що призводить до підвищення їх щільності в дифузійному шарі. Одночасно має місце процес полігонізації структури, що в свою чергу підвищує щільність дефектів. По мірі віддалення від поверхні насичення щільність дислокацій в дифузійному шарі зменшується.

Процес дифузії може бути самоприскорюваним. При певних умовах в дифузійному шарі утворюються дислокації, які можуть прискорити дифузію елементів заміщення.

Відомо, що для проведення поверхневого дифузійного насичення виробу необхідно створити направлений дифузійний потік атомів насичувального елемента з поверхні в глибину виробу, що можливе за умови одночасного протікання трьох основних процесів:

1 утворення вільних атомів насичувального елемента на поверхні виробу, що піддається дифузійному насиченню;

2 адсорбції (поглинання поверхнею) атомів насичувального елемента виробом;

3 дифузії адсорбованих атомів в глибину виробу.

Найвірогіднішим і легко з'ясовним є вакансійний механізм. Відомо, що реальний кристал містить певне число вакантних вузлів решіток. Ці вакансії відкривають шлях для легкого здійснення дифузії. Елементарним стрибком при дифузії по цьому механізму служить перескок атома в сусідню вакансію. В результаті стрибка атом і вакансія просто обмінюються місцями. Атом дифундує по кристалу в результаті ряду обмінів місцями з різними вакансіями, які час від часу виявляються поблизу нього.

Товщина дифузійного шару визначалась по формулі:

$$h = \sqrt{2 \cdot D_B \cdot \tau}, \text{ мкм} \quad (1)$$

З формули 1, знаючи експериментальні дані товщини шару і варіюючи температуру нагріву при пічному нагріванні, можна знайти коефіцієнт дифузії вуглецю при цементації сталі 20X:

$$D_B = \frac{h^2}{2 \cdot \tau}, \text{ см}^2/\text{с} \quad (2)$$

Результати розрахунків зміни коефіцієнту дифузії вуглецю для різних зон та загального дифузійного шару представлені на рис. 5. Найменші значення відповідають першій зоні – заевтектоїдній. Це пов’язано з тим, що саме ця зона є найбільш насиченою вуглецем (це підтверджує вимір мікротвердості, рис. 4) та виявляє собою карбідний шар, в якому дифузія ускладнена. Коефіцієнт дифузії евтектоїдної зони має також низькі значення, але трохи більші ніж у заевтектоїдній зоні. Поступово концентрація вуглецю зменшується від поверхні вглиб зразка, та дифузія прискорюється в доевтектоїдній зоні. Значне збільшення коефіцієнтів дифузії відбувається з підвищенням температури. Загальний дифузійний шар має найбільше значення при температурі 950 °С.

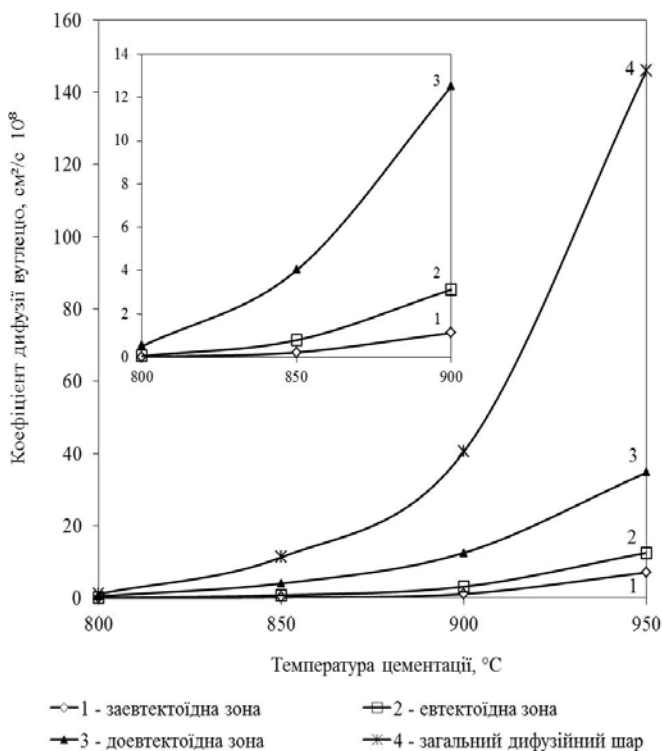


Рис. 5 – Зміна коефіцієнту дифузії вуглецю цементованої сталі 20X

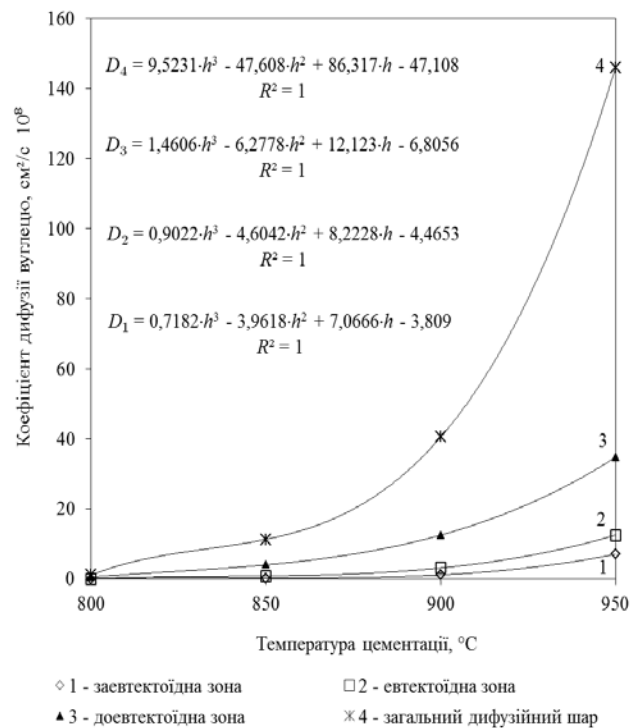


Рис. 6 – Математичні моделі коефіцієнтів дифузії загального дифузійного шару D_4 та кожної зони цементацийного шару D_1 , D_2 і D_3 сталі 20X

Зміна коефіцієнтів дифузії відбувається згідно рівнянь, наведених на рис. 6. Ці рівняння – математичний аналіз експериментальних даних методом апроксимації поліномом третього ступеня. Таким чином, отримані математичні моделі коефіцієнтів дифузії загального дифузійного шару та кожної зони цементацийного шару в діапазоні від 800 до 950 °С з перевіркою адекватності моделі за коефіцієнтом кореляції (R).

Висновки.

1. На основі експериментальних даних виведені математичні моделі товщини загального дифузійного шару та кожної її зони від температури цементації в діапазоні 800–950 °С. Найменша товщина шару відповідає заевтектоїдній зоні, а найбільша – доевтектоїдній зоні. Загальний дифузійний шар змінюється від 0,18 до 2,05 мм при підвищенні температури від 800 до 950 °С відповідно протягом двох годин витримки.

2. Мікротвердість поверхні змінюється від 5,5 до 6,3 ГПа при підвищенні температури від 800 до 950 °С відповідно. З підвищенням температури розподіл мікротвердості від поверхні до серцевини більш плавний, що має велике позитивне значення для подальшої експлуатації виробу.

3. Розглянуті та детально вивчені процеси дифузії вуглецю при цементації сталі 20Х. Отримані математичні моделі коефіцієнтів дифузії загального дифузійного шару та кожної його зони від глибини дифузійного шару в діапазоні температур від 800 до 950 °С з перевіркою адекватності моделі за коефіцієнтом кореляції.

Список літератури: 1. *Смирнов М. А.* Основы термической обработки стали: учебное пособие [Текст] / *М. А. Смирнов, В. М. Счастливцев, Л. Г. Журавлев.* – М. : «Наука и технологии», 2002. – 519 с. 2. *Малинов Л. С.* Влияние цементации и последующей термообработки на структуру, фазовый состав и абразивную стойкость Fe-Cr-Mn-сталей [Текст] / *Л. С. Малинов, А. П. Чейлях, Е. Л. Малинова* // Изв. АН СССР. Металлы. – 1991. – № 1. – С. 120-123. 3. *Ляхович Л. С.* Цементация стали 2Х13 в твердом карбюризаторе [Текст] / *Л. С. Ляхович, Э. П. Пучков, Ф. Я. Прецкайло* // МиТОМ. – 1977. – № 2. – С. 52-53. 4. *Шмыков А. А.* Термодинамика и кинетика процессов взаимодействия контролируемых атмосфер с поверхностью стали [Текст] / *А. А. Шмыков, В. Г. Хорошайлов, Е. Л. Гюлиханданов* – М. : Metallurgiya. – 1991. – 160 с. 5. *Чейлях Я. А.* Влияние легирующих элементов и термообработки на микроструктуру, метастабильность и свойства науглероженных слоев Fe-Cr-Mn сталей [Текст] / *Я. А. Чейлях, В. В. Чигарев, И. М. Олейник* // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. : технічні науки : зб. наук. праць. – Маріуполь, ПДТУ, 2010, вип. 20. – С. 120-124. 6. *Чейлях А. П.* Поверхностное упрочнение сталей ферритного и мартенситного классов созданием метастабильных состояний методами цементации и термообработки [Текст] / *А. П. Чейлях, Я. А. Чейлях* // Metallurgiya машиностроения, 2008. – № 1. – С. 34-38.

Bibliography (transliterated): 1. Smirnov, M. A., Schastlivtsev, V.M, Zhuravlev, L.G. (2002). Fundamentals of heat treatment of steel : a tutorial. Science and Technology, 519 p. 2. Malinov, L. S., Cheiliah, A. P., Malinova, E. L. (1991). Effect of carburizing and subsequent heat treatment on structure, phase composition and abrasion Fe-Cr-Mn-steels. J. USSR Academy of Sciences. Metals. 1, 120-123. 3. Lyakhovich, L. S., Puchkov, E. P, Pretskaylo, F. J. (1977). Carburizing of steel 2H13 in the solid carburizer. J. MiTOM, 2, 52-53.. Shmykov, A. A., Khoroshaylov, V. G., Gyulihandanov, E. L. (1991). Thermodynamics and kinetics of the interaction of controlled atmospheres with the surface of steel. Metallurgy, 160 p. 5. Cheiliakh, Y. A., Chigarev, V. V., Oleynik, I. M. (2010). The influence of alloying components and heat treatment on microstructure, metastability and properties of carburized layers of Fe-Cr-Mn steels. Math. of Pryazovskyi State Technical University: techn. Sciences, 20, 120-124. 6. Cheiliah, A. P., Cheiliah, Y. A. (2008). Surface hardening of steels ferrite and martensite classes by creation of metastable states of methods of carburizing and heat treatment. Metallurgy of Machine Building, 1, 34-38.

Надійшла (received) 25.05.2014

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ
НОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КЛАПАНА-ОТСЕКТЕЛЯ**

Представлена новая конструкция электромагнитного клапана-отсекателя, который срабатывает при повышении давления в трубопроводе на 25% от номинального, а также от сигнала, поступающего на соленоид отключения газовой защиты при появлении опасной концентрации метановоздушной смеси. Проведено экспериментальное определение времени срабатывания разработанного клапана. Установлено, что функция распределения интервалов времени срабатывания механической части защиты не противоречит распределению Вейбулла с параметрами $\theta_1 = 1,37$ и $\beta_1 = 16$.

Ключевые слова: взрывобезопасность, клапан-отсекатель, заслонка, разобщитель, герконы, электромагнит, отключающий механизм, распределение Вейбулла.

Введение. Одним из основных элементов, участвующих в обеспечении взрывобезопасности газифицированных помещений, использующих природный газ под давлением до 3 кПа, является предлагаемый клапан-отсекатель, конструкция которого приведена в [1].

При разработке требований на создание предложенного нами клапана-отсекателя исходили из следующего:

а) минимальная стоимость (вес, габаритные размеры) по сравнению с существующими конструкциями клапанов-отсекателей, выполняющих аналогичные функции;

б) повышенная надежность за счет упрощения конструкции, т.е. уменьшения числа трущихся частей деталей в системе аварийного отключения клапана-отсекателя;

в) объединение двух функций различных клапанов-отсекателей в одну конструкцию. При повышении давления в трубопроводе срабатывает механическая защелка и клапан-отсекатель перекрывает подачу газа потребителю. При случайном появлении аварийной концентрации газа в помещении срабатывает газовая защита и через промежуточное реле напряжение подается на обмотку электромагнита отключения, который воздействует на механическую защелку и прекращает подачу газа по вводному газопроводу.

Известен автоматический отсекающий клапан, который содержит два корпуса с сообщающимися полостями. В одном из них установлено седло с подвижно закрепленной на нем заслонкой, в другом размещен поворотный механизм заслонки, содержащий втулку, выполненную с возможностью перемещения и с расположенной внутри нее осью с уступом, которая посредством пружины соединена со второй втулкой, соединенной с рычагом. Клапан-отсекатель содержит также фиксатор положения заслонки, выполненной в виде пневматического цилиндра, шток которого, перемещаясь перпендикулярно оси, фиксирует её. Клапан оснащён системой сброса давления, фиксатор положения заслонки связан с трубопроводом подвода рабочего

вещества к клапану-отсекателю [2].

Наиболее близким к предложенному изобретению является автоматический отсекающий клапан [3]. Этот клапан содержит два корпуса с сообщающимися полостями. В одном из них установлено седло с подвижно закрепленной на нем заслонкой, в другом размещен поворотной-подъемный механизм заслонки, содержащий втулку, выполненную с возможностью перемещения и с расположенной внутри нее осью. Рычаг одним концом связан с заслонкой. Имеется фиксатор положения заслонки. Фиксатор положения заслонки выполнен в виде электромагнита, сердечник которого расположен между рычагом и втулкой. Сердечник и втулка выполнены с возможностью их соединения в нижнем положении заслонки и разъединения – в ее верхнем положении. Сердечник и втулка имеют электромагнитное соединение в нижнем положении заслонки. Для соединения втулки и сердечника втулка снабжена наконечником с разрезным пружинным кольцом, расположенным в выполненном в наконечнике кольцевом пазу прямоугольного профиля, а сердечник имеет полость для размещения в ней наконечника и канавку с угловым профилем для размещения пружинного кольца наконечника. Клапан-отсекатель дополнительно содержит блок управления и контроля положения заслонки. Блок управления и контроля положения заслонки включает светодиоды, герконы и реле. Герконы установлены с возможностью управления электромагнитным полем катушки. Блок управления и контроля положения заслонки включает дополнительную ось, расположенную параллельно оси подъемно-поворотного механизма и связанную с ней посредством зубчатой передачи, гайку с постоянным магнитом, выполненную с возможностью перемещения относительно дополнительной оси. Герконы, светодиоды, блок управления через реле связан с блоком питания и выходами для подключения к датчикам. Корпус поворотной-подъемного механизма со стороны выхода снабжен крышкой, имеющей выступающую внешнюю часть, а ось блока управления и контроля положения заслонки проходит через выступающую часть крышки. Клапан-отсекатель дополнительно содержит кожух для размещения в нем блока управления, при этом герконы размещены с внутренней стороны кожуха напротив гайки с магнитом при нижнем и верхнем положениях заслонки. Для перемещения втулки корпус подъемно-поворотного механизма снабжен резьбой, а ось – штифтом, установленным в выполненных под него во втулке продольных пазах. Для перемещения втулки корпус подъемно-поворотного механизма снабжен продольными пазами, при этом втулка снабжена выступами для соединения с пазами и внутренней резьбой, а ось – соответственно имеет наружную резьбу. Для выравнивания давления каналы выполнены в теле сердечника и наконечнике, с помощью которого можно осуществлять перекрытие подачи газа в аварийных режимах, однако работа клапана отсечки осуществляется посредством его управления только за счёт электромагнита, который приводится в действие (срабатывает) посредством сигналов, посылаемых газовыми датчиками, и при выходе из строя которых нарушается работа клапана, а также не обеспечивается требуемая надёжность срабатывания в случае возникновения аварийной ситуации.

Основным недостатком такой конструкции клапана-отсекателя является: большое количество подвижных элементов и шарнирных соединений, из которых выполнен поворотный-подъемный механизм для регулировки газового потока, что значительно снижает надёжность и быстродействие этого механизма, что может привести к отказу в срабатывании такого типа клапана-отсекателя при появлении взрывоопасных ситуаций.

Кроме этого, сложная технология изготовления клапана приводит к высокой стоимости изделия. Поэтому в предлагаемом нами клапане-отсекателе, назовем его КОГ-1, за счет особенности конструктивных элементов и их связей обеспечивается более высокая надёжность в срабатывании, а также возможность работы от аварийных датчиков различных типов при упрощении самой конструкции.

Чертеж клапана-отсекателя изображен на рис. 1, а. Устройство защиты для обеспечения взрывобезопасности газифицированных помещений, содержащее корпус 1 с сообщающимися полостями, в одной из которых расположен клапан отсечки 2 с подвижно закреплённым средством для перекрытия подачи газа – запорным шаром 3, в другой размещены механизм, содержащий разобщик 4, выполненный с возможностью перемещения и одним концом контактирующий с клапаном отсечки 2, а другим с датчиком давления 5 и датчиком загазованности 6, фиксатор положения клапана отсечки, представляющий собой электромагнит 7, сердечник и втулка которого выполнены с возможностью их соединения в нижнем положении, клапан отсечки 2 выполнен в виде вертикально расположенного штока 8, на нижнем конце которого посредством пружины 9 закреплён запорный элемент в виде шара 3, при этом разобщик 4 установлен перпендикулярно клапану отсечки 2 и датчику давления 5, состоящего из поршня 10 и пружины 11, причём поршень 10 выполнен в месте контакта с разобщиком скошенным, и скос является гипотенузой прямоугольного треугольника, горизонтальный катет которого равен длине защелки клапана отсечки 2. Скос поршня 10 необходим для перемещения в горизонтальной плоскости посредством датчика давления 5 разобщика 4 и выхода его из зацепления с клапаном отсечки 2. При этом нижняя часть поршня датчика давления 5 до начала скоса выполнена цилиндрической, а верхняя часть представляет собой четырёхугольник, для обеспечения работы разобщика и возможности его перемещения в горизонтальной плоскости. Электромагнит 7 размещён на корпусе со стороны датчика давления 5 и соединён с разобщиком 4 и датчиком загазованности 6, при этом в трубопроводе 13 подвода газа к газовым приборам, размещённом в корпусе устройства, в нижней его части выполнен канал 14 для прохождения избыточного количества газа при аварийном повышении давления, который перекрывается поршнем 10 датчика давления 5.

Запорный элемент выполнен в виде шара 3, находящегося в плавающем состоянии, так как шар является наиболее удобной фигурой для перекрытия канала и обеспечивает максимальную герметичность, также он используется практически во всех цилиндрических и пневматических системах.

Разобщик снабжён пружинами 15, установленными со стороны ввода в корпус с возможностью возвратно-поступательного перемещения.

Внешний вид клапана-отсекателя изображен на рис. 1, б.

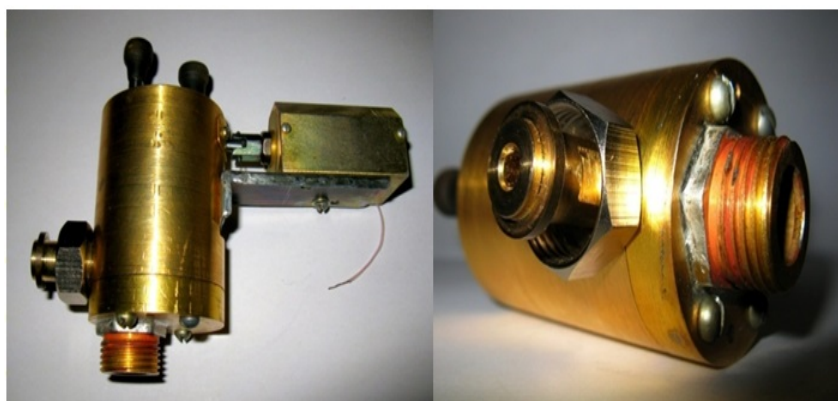
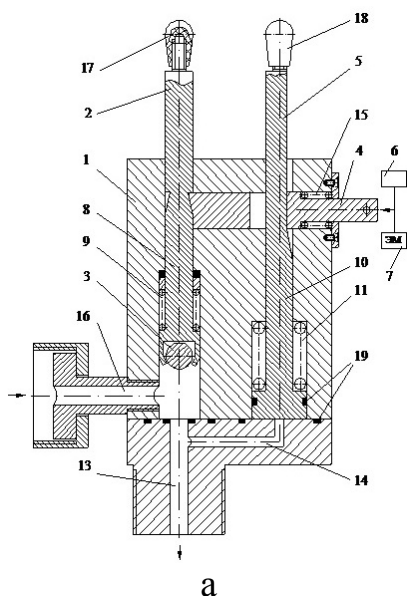
В качестве датчика загазованности 6 используется датчик TGS6810-A00, выпускаемый промышленностью серийно.

Газ поступает в устройство защиты посредством штуцера ввода газа 16.

Клапан отсечки и датчик давления оснащены рукоятками 17 и 18 соответственно. Первая служит сигналом срабатывания, а вторая необходима для проверки работоспособности клапанов устройства: при её поднятии вверх должен сработать клапан отсечки 2.

В местах состыковки деталей для обеспечения необходимой герметизации имеются уплотнения 19.

Предложенное устройство работает следующим образом. Устройство встраивается в трубопровод низкого давления на вводе в квартиру. При поступлении газа через штуцер 16 ввода он поступает в трубопровод 13 подвода газа к газовым приборам.



б

Рис. 1 – Клапан-отсекатель КОГ-1, который устанавливают перед газовыми приборами: а – схематический чертеж; б – внешний вид предлагаемого клапана

В случае повышения давления во вводном трубопроводе до критического значения (50,6 кПа), газ поднимается по каналу 14 и давит на поршень 10. Последний, воздействуя на пружину 10, поднимается вверх и при помощи скоса на поршне 10 управляющего клапана 5, высвобождает разобщитель 4 (выталкивает его из корпуса устройства), удерживающий в верхнем положении клапан отсечки 2, который, таким образом, выходит из зацепления с разобщителем 4.

Опускаясь вниз, клапан отсечки 2, под действием пружины 9 перекрывает поступление газа с помощью запорного шара 3.

Для возврата клапана в исходное (верхнее) положение, необходимо вручную поднять возвратный шток 17 и клапан зафиксировать в нормально открытом положении.

Если же давление не пришло в норму описанным выше способом, устройство снова работает на перекрытие газового потока: клапан отсечки 2

мгновенно перейдет в нижнее положение.

Также предусмотрена работа устройства от датчиков различных типов (загазованности, давления). Принцип работы аналогичен.

Рассмотрим работу устройства при подключении датчика загазованности 6. В этом случае управление производится с помощью импульсов, вырабатываемых микроконтроллером (на чертеже не показан), на который подаются входные сигналы от датчика загазованности 6, установленного в потолочной зоне 30-40 см над газовой плитой.

При повышении концентрации метана в помещении до уровня 40 % от нижней концентрации предела взрываемости (НКПВ), т.е. при повышении содержания метана в воздухе до 2 %, микроконтроллер подаёт импульс на обмотку электромагнита 7, который втягивая разобщик 4, высвобождает шток клапана отсечки 2, клапан срабатывает и с помощью пружины шариком перекрывает подачу газа в газовые приборы.

Разобщик 4 конструктивно выполнен таким образом, что может воздействовать на клапан отсечки 2 (выходит с ним из зацепления) при помощи как встроенного датчика давления 5, так и под действием электромагнита 7, управляемого датчиком загазованности 6.

Для фиксации клапана отсечки 2 в исходном (открытом) положении, шток 17 взводится вручную. В случае продолжения аварийной ситуации клапан вновь сработает на перекрытие газа.

Сигналом того, что клапан отсечки 2 сработал, является его перемещение в вертикальной плоскости вниз (при срабатывании красная метка, нанесённая в верхней части штока 8, прячется в корпус), что обеспечивает визуальный контроль срабатывания без вспомогательных средств (сигнальных лампочек, диодов).

Разность давлений помогает втягивать запорный шар 3 в отверстие в трубопроводе, способствуя более плотному прилеганию.

Предлагаемый клапан может быть установлен после имеющегося в газифицированном помещении вентиля, связывающего общий стояк с разводкой газа.

Для определения времени срабатывания предлагаемого клапана-отсекателя при повышении давления в трубопроводе был использован компрессор.

В трубопроводе, где был установлен клапан-отсекатель КОГ-1 скачком изменялось давление с 3 до 50,6 кПа. При этом время срабатывания клапана измерялось с помощью устройства, используемого для определения времени срабатывания выключателя [4].

Под наблюдением находилось $n=10$ однотипных по характеристикам клапанов-отсекателей. Время срабатывания одного из 10 клапанов-отсекателей фиксировалось и результат измерения заносился в табл. 1.

Необходимо определить, не противоречит ли статистика (колонка 2 табл. 1) функции распределения вероятностей Вейбулла по критерию согласия Манна [5].

Обозначим t_1, t_2, \dots, t_r – первые r порядковых статистик, длительности срабатывания клапана-отсекателя. В нашем случае $n=r$. Обозначим через $x_i = \ln t_i$, $i = \overline{1, r}$. Используя [6] для случая: $n=10$, $r=10$ и $\alpha=0,95$, находим $S_1=0,218$ и

таблицы [5] находим $S_{кр}=0,69$, так как $S_I < S_{кр}$, то гипотеза о том, что представленная статистика не противоречит закону распределения Вейбулла с параметрами $\tilde{\theta}_1=1,37$ и $\beta_1=16$ подтверждается.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований времени срабатывания клапана-отсекателя при скачкообразном изменении давления во вводе трубопроводе с 3 до 50,6 кПа

I	t_r, c	x_i	M_i	$x_{i+1} - x_i$	$(x_{i+1} - x_i)/M_i$	a_i	c_i
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,12	0,104360	1,053606	0,086260	0,081872	0,027331	- 0,072734
2	1,24	0,190620	0,559013	0,032523	0,058180	0,040034	- 0,077971
3	1,26	0,223144	0,399100	0,039221	0,098273	0,052496	- 0,077242
4	1,35	0,262364	0,324470	0,037740	0,116314	0,065408	- 0,071876
5	1,36	0,300105	0,286163	0,021979	0,076806	0,079263	- 0,061652
6	1,39	0,322083	0,269493	0,007220	0,026792	0,094638	-0,04542
7	1,41	0,329304	0,271645	0,014286	0,052591	0,112414	- 0,020698
8	1,46	0,343590	0,300869	0,007067	0,023489	0,134239	0,017927
9	1,48	0,350657	0,405316	0,007018	0,017314	0,164178	0,08507
10	1,49	0,357674	-	-	-	0,230001	0,324597

Выводы

1. Предлагаемая конструкция клапана-отсекателя включает в себя две функции: срабатывает при аварийном повышении давления в трубопроводе; срабатывает при повышении концентрации газа в помещении выше нормируемого уровня.

2. Надежность предлагаемого клапана-отсекателя выше существующих, так как имеет меньшее число подвижных деталей в отключающем механизме.

3. Установлено, что функция распределения интервалов времени срабатывания механической части защиты не противоречит распределению Вейбулла с параметрами $\tilde{\theta}_1=1,37$ и $\beta_1=16$.

Список литературы: 1. Патент на винахід, МПК (2006.01), F16K 17/04. Пристрій захисту для забезпечення вибухобезпеки приміщень, які експлуатують побутовий газ [Текст] / *Лехтман І. І., Ковальов О. П., Очкур М. М., Білоусенко І. В.* – № а 201105092; под. 21.04.2011. Решение о выдаче от 17.05.12. 2. ТУ 3742-024-00158824-99 Сертификат соответствия № РОСС RU.АЯ04.В02541 [Текст] / Клапан-отсекатель для защиты скважин и шлейфов в случаях аварийного повышения или понижения давления. 3. Патент на изобретение 2285180 РФ, МПК⁸, F16 K17/04 Клапан-отсекатель [Текст] / *Светушенко С. Г., Мокеев М. Ю., Смирнов Ю. А.* – заявл. 14.02.2005; опубл. 10.10.2006. – 7 с. 4. *Анчарова, Т. В.* Анализ взаимозаменяемости автоматических выключателей в осветительных сетях [Текст] / *Т. В. Анчарова, А. Г. Аветян* // Промышленная энергетика. – 2006. – № 1. – С. 9–14. 5. *Mann, N. R.* Tolerance Bounds a New

Goodness – of – Fit Test for Two-Parameter Weibull or Extreme – Value Distribution [Text] / *N. R. Mann, K. W. Fertig, E. M. Scheuer.* – Aerospace Research Laboratories, Wright Patterson Air Force Base, Ohio, ARL 71 – 0077, Contact No, AF 33 (615) – 70 – C – 1216, 1971. **6.** *Канур, К.* Надежность и проектирование систем [Текст] / *К. Канур, Л. Ламберсон.* – М.: Мир, 1980. – 604 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Lehtman, I. I., Koval'ov, O. P., Ochkur, M. M., Bilousenko, I. V.* (21.04.2011). Patent na vinahid, MPK (2006.01), F16K 17/04. Pristrij zahistu dlja zabezpechennja vibuhobezpeki primishhen', jaki ekspluatujut' pobutovij gaz. № a 201105092; Reshenie o vydache ot 17.05.12. **2.** TU 3742-024-00158824-99 Sertifikat sootvetstvija № ROSS RU.AJa04.V02541. Klapan-otsekatel' dlja zashhity skvazhin i shlejfov v sluchajah avarijnogo povyshenija ili ponizhenija davlenija. **3.** *Svetushenko, S. G., Mokeev, M. Ju., Smirnov, Ju. A.* (10.10.2006). Patent na izobrenenie 2285180 RF, MPK8, F16 K17/04 Klapan-otsekatel', 7. **4.** *Ancharova, T. V., Avetjan, A. G.* (2006). Analiz vzaimozamenjaemosti avtomaticheskikh vykljuchatelej v osvetitel'nyh setjah. Promyshlennaja jenergetika, 1, 9–14. **5.** *Mann, N. R., Fertig, K. W., Scheuer, E. M.* (1971). Tolerance Bounds a New Goodness – of – Fit Test for Two-Parameter Weibull or Extreme – Value Distribution. Aerospace Research Laboratories, Wright Patterson Air Force Base, Ohio, ARL 71 – 0077, Contact No, AF 33 (615) – 70 – C – 1216. **6.** *Kanur, K., Lamberson, L.* (1980). Nadezhnost' i proektirovanie sistem. Mir, 604.

Поступила (received) 22.05.2014

УДК 621.313

Д. В. ПОЛКОВНИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ, Донецьк;
І. І. МОСКВІНА, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ, Донецьк

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Виконано аналіз шляхів переходу від планово-попереджувальних ремонтів до системи обслуговування за фактичним станом короткозамкнених асинхронних двигунів за рахунок застосування методів діагностики, що дозволяють оцінити їх технічний стан в робочих режим. З цією метою запропоновано використовувати комплексний критерій справності, який визначається на підставі контролю несиметрії фазних струмів статора і кута нахилу механічної характеристики.

Ключові слова: асинхронні електродвигуни, технічне обслуговування, обслуговування за фактичним станом, діагностика, критерій.

Постановка проблеми. Найважливішим завданням в сучасній промисловості є питання забезпечення максимального виробничого ефекту (отримання максимального прибутку). Вирішення даного завдання в електричних системах багато в чому залежить від надійності роботи та від раціональності системи технічного обслуговування і ремонтів (ТОіР) електроустаткування.

У теперішній час для підтримки електроустаткування в працездатному стані використовуються ряд технічних заходів, обсяг і періодичність виконання яких нормується системою планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Однак в сучасних економічних умовах ефективність виконання заходів, що регламентовані цією системою, є дуже низькою [1]. Технічне обслуговування й ремонт електроустаткування часто проводиться несвоєчасно. Це викликано тим,

© Д. В. ПОЛКОВНИЧЕНКО, І. І. МОСКВІНА, 2014

що виконання ТОіР у СРСР регламентувалося системою державних і галузевих нормативів, які визначали плани – як, коли, у якому обсязі й ким повинні здійснюватися відповідні роботи. Ця система ППР носила витратний характер, не мала достатню гнучкість, але забезпечувала експлуатацію устаткування відповідно до галузевих норм і стандартів безпеки. Однак, при переході від планової економіки до ринку, підприємства не змогли мати витрати на ТОіР у колишньому обсязі, що привело в багатьох галузях до постійного невиконання планів ремонтів, до втрати надійності устаткування й збільшенню ресурсів, необхідних для підтримки його працездатності в майбутньому [2].

За даними, що наведені в [3], витрати на технічне обслуговування устаткування в енергетичному секторі в країнах ЄС складають \$18 на кінську силу (к.с.)– при роботі до виходу із ладу, \$13 на к.с.– за системою ППР та \$9 на к.с. – при системі обслуговування за фактичним станом (ОФС).

До того ж порівнюючи системи ППР і ОФС можна виділити основні переваги другого підходу [4]:

- при ППР біля 50% робіт виконується без фактичної на то необхідності;
- при ППР спостерігається зниження надійності устаткування відразу після проведення ремонту;
- при ППР виконується заміна деталей з великим залишковим ресурсом;
- при ОФС завжди відомий фактичний стан устаткування;
- при ОФС підвищується ефективність ремонту за рахунок післяремонтного діагностування;
- при ОФС вірогідно визначаються строки необхідних робіт із профілактики та ремонту устаткування.

Хоча ОФС й вимагає додаткових витрат на оснащення устаткування системами моніторингу і діагностики, але як показує практика ці витрати швидко окупаються та приносять додатковий прибуток.

Метою системи ОФС є підвищення надійності та зниження експлуатаційних витрат. Згідно до основної концепції системи ОФС для ухвалення рішення про необхідність виконання яких-небудь відбудовних і ремонтних робіт треба мати оперативну інформацію про технічний стан вузлів або електроустаткування в цілому. Тому одним з основних є завдання вибору методу діагностики для одержання інформації про технічний стан із заданою вірогідністю.

Таким чином, для підвищення економічної ефективності виробництва і конкурентоздатності підприємства актуальним питанням є впровадження та використання системи обслуговування і ремонтів електроустаткування за фактичним станом.

Короткозамкнені асинхронні електродвигуни (АД) - найпоширеніші приводи сучасних технологічних машин. Однак оптимальному використанню таких електродвигунів перешкоджає їх висока пошкоджуваність (щорічно пошкоджуються 20-25% від загальної кількості встановлених електродвигунів). Залежно від виду та ступеня пошкодження ремонт електродвигуна здійснюється або власними силами (у межах підприємства, що експлуатує електродвигуни), або спеціалізованими організаціями (електроремонтними заводами або цехами). При цьому для більшості електродвигунів після ремонту з розбиранням і заміною

деталей надійність роботи часто знижується. Важко також виявити під час ремонту приховані дефекти, такі, наприклад, як дефекти стрижнів короткозамкненого ротора або порушення ізоляції обмотки статора, що призводить до виткових замикань. У зв'язку з цим розробка і вдосконалення методів діагностики, післяремонтної оцінки технічного стану електродвигунів, перевірки їх працездатності та відповідності нормативним вимогам основних параметрів є актуальним завданням. Вирішення всіх цих завдань дозволяє перейти до обслуговування електродвигунів за фактичним технічним станом.

Метою проведених досліджень був аналіз шляхів переходу до ОФС короткозамкнених АД за рахунок застосування методів діагностики, що дозволяють оцінити їх технічний стан в робочих режимах.

Основним завданням технічного діагностування є одержання достовірної інформації про технічний стан електродвигунів в процесі експлуатації. Воно вирішується на основі виміру, контролю, аналізу й обробки кількісних та якісних значень параметрів електродвигунів.

Технічна діагностика електроустаткування, в тому числі електродвигунів, містить у собі два головних напрямки - оперативну і ремонтну діагностику. До основних завдань оперативної діагностики відносяться:

- раннє виявлення дефектів на працюючому або виведеному з роботи для обстеження (але не розібраному) устаткуванні;
- прогнозування розвитку дефектів, оцінка їх небезпеки та загального стану устаткування.

В [5] запропонована блок-схема процесу прийняття рішення про проведення ремонту електродвигуна, що наведена на рис.1.

Надійність діагностики вимагає збільшення кількості методів і періодичності, а, з іншого боку, економічний аспект змушує зменшувати обсяг робіт. В останні роки пропонується підхід, який отримав назву

"багатопараметричної діагностики" (БПД). Згідно БПД визначається оптимальний набір методів діагностики залежно від виду електроустаткування.

При використанні БПД виникає необхідність оцінки результатів діагностики технічного стану устаткування. Нормовані показники кожного методу різні, немає можливості зіставляти "прямо" отримані за різними методиками дані. Із

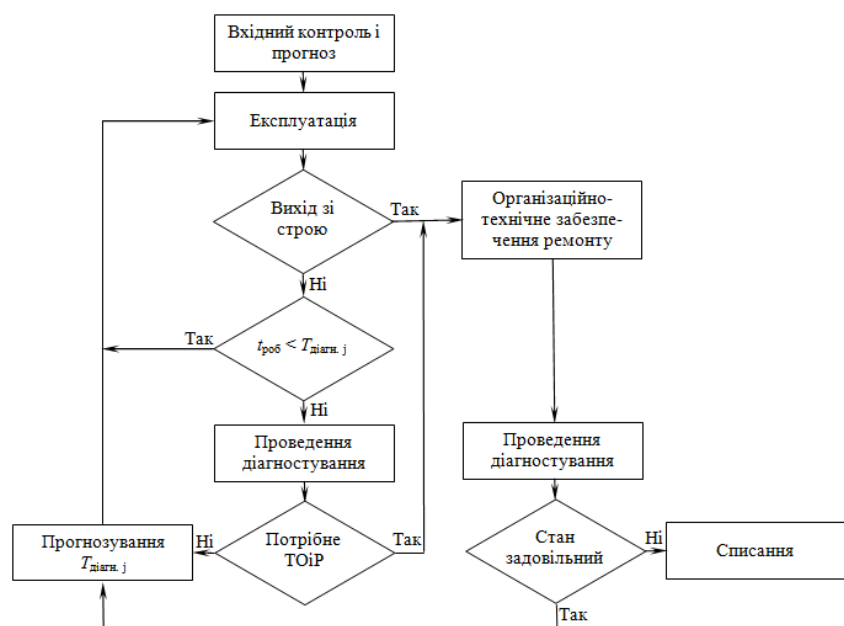


Рис.1 – Пропонована блок-схема процесу прийняття рішення про проведення ремонту електродвигуна

цієї причини була прийнята нова процедура "класифікації", що дозволяє розділити технічний стан устаткування на кілька класів залежно від рівня отриманої характеристики. Деякі системи класифікацій наведені в табл.1 [6].

Таблиця 1 – Системи класифікації технічного стану електрообладнання

1	Дворівнева класифікація	«Успішно – неуспішно» (так – ні)
2	Трирівнева класифікація	- Норма (так) - Погіршене - Предаварійне (ні)
3	П'ятирівнева класифікація	- Норма (так) - Норма з відхиленнями - Норма зі значними відхиленнями - Погіршене (ні) - Предаварійне

Більш докладно п'ятирівнева система класифікації з визначенням особливостей дефекту і обсягом рекомендацій наведена в табл.2 [6].

Таблиця 2 – П'ятирівневасистема класифікації технічного стану

Технічний стан ізоляції		Ступінь розвитку дефекту ізоляції	Ремонтно-профілактичні заходи
Предаварійне		Неприпустимий дефект, необхідно відключення	Демонтаж із заміною обладнання на нове
Погіршене		Небезпечний дефект, експлуатація можлива при прискореному контролі	Підготовка і планування капітального ремонту
Норма	зі значними відхиленнями	Розвинутий дефект; характеризується прискореним темпом розвитку	Експлуатація з наступним (планованим) ремонтом. Можливий ремонт на місці
	зі слабкими відхиленнями	Отримана характеристика дефекту перевищує рівень шумів	Експлуатація при дотриманні профілактичних заходів
	без зауважень (сигнал на рівні шумів)	Характеристики на рівні шумів	Експлуатація без обмежень

Коли виконано обстеження технічного стану, для висновку за результатами діагностики (при використанні декількох методів) розумно використовувати "песимістичну оцінку", у даній ситуації в цілому по об'єкту приймається гірший діагноз.

Як було вже сказано вище, використання системи ОФС дозволяє також контролювати якість проведення ремонтних та монтажних-налагоджувальних робіт, що значно впливає на надійність роботи устаткування.

Таким чином, виконаний аналіз дозволив сформувати область застосування технічних засобів діагностики при використанні системи ОФС (рис. 2) [7].

Основним завданням для переходу до ОФС електродвигунів є розробка достовірних методів діагностики технічного стану.



До

основних вимог, яким повинен

Рис. 2 – Область застосування технічних засобів діагностики при використанні ОФС

відповідати «ідеальний» сучасний метод діагностування стану електродвигунів, можна віднести [8]:

- висока достовірність і точність виявлення несправностей і пошкоджень електродвигуна;
- можливість виявлення всіх або значної частини електричних і механічних пошкоджень електродвигуна і пов'язаних з ним механічних пристроїв;
- можливість проведення діагностичних вимірів дистанційно, що актуально в тих випадках, коли доступ до устаткування ускладнено;
- низька трудомісткість діагностичних робіт (вимірювань) і простота проведення вимірювань;
- можливість проведення аналітичної обробки отриманих результатів вимірювань за короткий час – із застосуванням обчислювальних і програмних засобів.

У роботах [9,10] оцінка післяремонтної працездатності електродвигунів проводиться шляхом визначення їх робочих параметрів (індуктивних і активних опорів, втрат у сталі, симетрії конструкції і т.д.).

Виявлення пошкоджених стрижнів ротора в асинхронній машині з короткозамкненою кліткою ротора розглядається в роботі [11]. Представлений Віденський метод моніторингу заснований на двох підходах до моделювання. У випадку ідеально симетричної машини обидві моделі дадуть однакові результати розрахунку параметрів стану машини. Якщо ротор має один або більше пошкоджених стрижнів, то лінійні напруги і струми будуть спотворюватися.

Кілька методів виявлення виткових коротких замикань і дефектів стрижнів ротора АД порівнюються в роботі [12]. Робиться висновок, що деякі гармоніки електромагнітного моменту виявляють їх ефективність при встановленні розглянутого виду ушкодження з великим ступенем чутливості, ніж гармоніки аксіального потоку розсіювання.

В роботі [13] показано, що спектральні лінії при частотах $(1 \pm 2s)f$ струму однієї з фаз є найбільш ефективними сигналами для цілей суворого діагностування розриву стрижнів короткозамкненого ротора АД.

Для виявлення можливих методів оцінки технічного стану короткозамкнених

АД були проведені експериментальні дослідження з використанням спеціальних стендів.

Вимірювання режимних параметрів виконувались за допомогою інформаційно-вимірювального комплексу, що складається з ПЕОМ та пристрою зв'язку ПЕОМ із зовнішніми об'єктами.

На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень запропоновано для оцінки післяремонтного стану обмоток статора і ротора короткозамкнутого АД використовувати узагальнений параметр – коефіцієнт його справного стану, який визначається як

$$k_{\partial} = \frac{c_i k_i + c_p k_p}{c_i + c_p},$$

де c_i, c_p – вагові коефіцієнти, які дорівнюють $1 \div 3$, вони можуть бути уточнені на підставі досвіду експлуатації електродвигуна; $k_i = \frac{I_1 - I_2}{I_1}$ – коефіцієнт несиметрії струмів; I_1, I_2 – діючі або амплітудні значення складових струму відповідно прямої та зворотної послідовностей; k_p – критерій, що характеризує крутизну механічної характеристики АД в області робочих ковзань і визначається за виразом

$$k_p = \frac{\frac{P}{P_{ном}}}{\frac{s}{s_{ном}}} \cdot \left(\frac{U_{ном}}{U}\right)^2,$$

де $P_{ном}, s_{ном}, U_{ном}$ – номінальні значення відповідно споживаної АД активної потужності, ковзання і напруги статора АД; P, s, U – відповідно споживана АД активна потужність, ковзання і напруга статора АД, що визначаються за результатами контролю.

Для справного двигуна $k_{\partial}=1$. Відхилення цього параметра в бік зниження від одиниці свідчить про наявність дефектів обмоток короткозамкнутого АД.

З використанням математичної моделі [14] проведений розрахунок залежностей критерія k_{∂} від кількості обірваних стрижнів $n_{об.ст.}$ для АД типу АВ-8000, що має наступні каталожні дані: $P_{ном} = 8000$ кВт; $U_{ном} = 6$ кВ; $I_{ном} = 875$ А; $s_{ном} = 0,0167$; $n_{ном} = 2950$ об/хв; $\eta = 0,963$; $\cos\varphi_{ном} = 0,9$; $K_{пуск} = 5,8$; $M_{пуск} = 0,8$; $M_{макс} = 2$; кількість стрижнів ротора – 38.

За каталожними даними розраховано параметри заступної схеми АД: $X_m = 3,9244$ у.о.; $X_{\sigma s} = 0,0575$ у.о.; $R_{r1} = 0,017$ у.о.; $R_{r2} = 0,1198$ у.о.; $X_{\sigma r1} = 0,1786$ у.о.; $X_{\sigma r2} = 0,3133$ у.о.

Результати розрахунків наведено в табл. 3

Як видно з даних, наведених у табл. 3, величина діагностичних параметрів залежить як від кількості обірваних стрижнів короткозамкнутого ротора АД, так і від їх місця розташування і ступеня пошкодження стрижнів. Найбільша величина несиметрії має місце при обриві сусідніх стрижнів, а найменша - при неповному обриві стрижнів, що відповідає порушенню паяних і зварних з'єднань в роторі.

Таблиця 3–Результати розрахунків параметрів заступної схеми АД

$n_{об.ст.}, шт.$	$k_i, у.о.$	$k_p, у.о.$	$k_d, у.о.$
0	1	1	1
№ 1 – неповний обрив	0,983	0,976	0,979
№ 1 – повний обрив	0,975	0,959	0,967
№ 1,2 – неповний обрив	0,966	0,941	0,954
№ 1,19 – повний обрив	0,959	0,931	0,945
№ 1,2 – повний обрив	0,956	0,918	0,937
№ 1,2,3 – неповний обрив	0,949	0,906	0,927
№ 1,13,26 – повний обрив	0,944	0,899	0,922
№ 1,2,3 – повний обрив	0,938	0,887	0,913

Для дослідження залежності запропонованого критерію справності при наявності виткових замикань в обмотці статора АД використана методика, що наведена в роботі [15]. Методика заснована на визначенні власних і взаємних

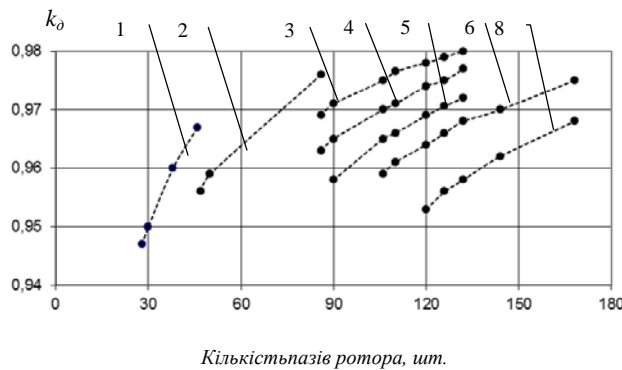


Рис. 3 – Узагальнені залежності критерію справності k_d при обриві одного стрижня від кількості пазів ротора для АД з різною кількістю пар полюсів p

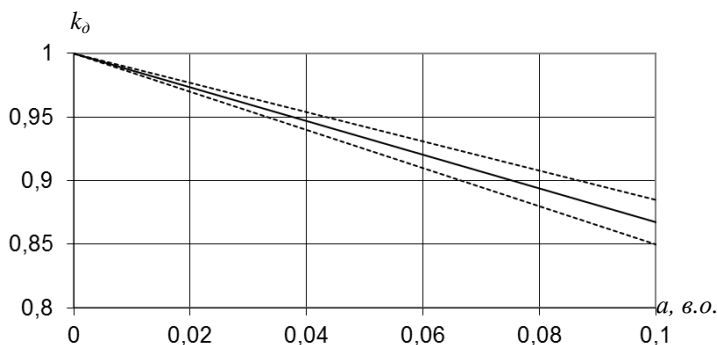


Рис. 4 – Узагальнена залежність критерію справності k_d від кількості витків, що замкнулися, обмотки статора АД a , а також діапазон її відхилення (пунктирні лінії)

статора (рис.4) отримана шляхом усереднення для АД наступних серій і типів: ДАЗО2 16-го і 18-го габаритів, ДАЗО4, АТД2, АТД4, А і АЗ 12-го і 13-го

індуктивностей контурів обмотки статора. Це пов'язано з тим, що при замиканні невеликої кількості витків обидві частини обмотки статора розташовані в одних і тих же пазах, тому їх взаєміндукції велика. Індуктивність замкнутих витків мала, і при відносно невеликому струмі в решті частині обмотки струм в пошкоджених витках може досягти більших значень. На підставі результатів математичного моделювання усталених режимів роботи короткозамкнених АД різних типів отримано узагальнені залежності комплексного критерію справності k_d від ступеня розвитку дефектів (рис.3-4).

Узагальнена залежність k_d від кількості витків, що замкнулися, обмотки

габаритів, АВ і АВК і справедлива на початковій стадії розвитку виткового замикання.

Величину критерію справності в діапазоні «справний двигун» ($k_d=1$) і «пошкоджений двигун» ($0,98 < k_d < 1$) можна вважати конструктивною несиметрією і використовувати при діагностуванні даного електродвигуна в експлуатаційних режимах для підвищення достовірності постановки діагнозу.

Однією із загальних проблем асинхронних машин є ексцентриситет. У роботах [16, 17] показано, що при збільшенні рівня динамічного і статичного ексцентриситету збільшуються середні значення власних індуктивностей. Це призводить до зміни коефіцієнта потужності електродвигуна. Так для справного двигуна на холостому ходу коефіцієнт потужності має величину 0,263, а при наявності статичного ексцентриситету (приблизно 70%) – 0,493 [17]. Цей факт дозволяє на підставі контролю коефіцієнта потужності контролювати стан механічної частини електродвигуна.

Висновки. Для оцінки технічного стану короткозамкнених асинхронних електродвигунів запропоновано використовувати комплексний критерій справності, який визначається на підставі контролю несиметрії фазних струмів статора і кута нахилу механічної характеристики. Ефективність використання цього критерію підтверджується результатами експериментальних досліджень і математичного моделювання. Використання запропонованого методу, поряд з іншими відомими методами діагностування технічного стану короткозамкнених АД, дозволить перейти до їх обслуговування по фактичному технічному стану.

Список літератури: 1. Техническое обслуживание по фактическому состоянию [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.systematic.ru/tehnicheskoe_obs_luzhivanie_po_fakticheskomu_sostoyaniyu.html. – Загл. с экрана 2. Хомутов, С. О. Прогнозирование вероятности безотказной работы электродвигателей на основе количественной оценки степени влияния воздействующих факторов [Текст] / С. О. Хомутов, Е. В. Кобозев // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – 2006. – № 2. – С. 4–8. 3. Технология обслуживания по фактическому состоянию [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.vdmk.com/information/tofs.htm>. – Загл. с экрана . 4. Холоденин, А. А. Сравнение стратегий технического обслуживания электрооборудования [Текст] : матер. X регион. науч.-тех. конф. / А. А. Холоденин // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону. СевКавГТУ, 2006. – Режим доступа : <http://www.ncstu.ru>. 5. Хомутов, С. О. Комплекс мероприятий по повышению надежности электрических двигателей в сельском хозяйстве на основе достоверных методов диагностики и эффективных технологий восстановления изоляции [Текст] / С. О. Хомутов // Ползуновский вестник. –2010. – № 4/2. – С. 70–76. 6. Радченко, В. В. Диагностика изоляции статорных обмоток высоковольтных двигателей нефтеперекачивающих станций на рабочем напряжении [Текст] / А. П. Горских, А. Г. Кошель, Ю. П. Аксенов // Трубопроводный транспорт. – 1999. – № 3. 7. Хомутов, С. О. Новые методы и технические средства диагностики электродвигателей в агропромышленном комплексе [Текст] / С. О. Хомутов, Ю. А. Тонких, В. С. Дронов // Ползуновский вестник. –2009. – № 4. – С. 109–115. 8. Петухов, В. С. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка напряжения и тока. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/49/10.php>. – Загл. с экрана 9. Бешта, А. С. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по переходному процессу в обмотке статора [Текст] : тр. КПИ / А. С. Бешта, Ю. В. Куваев, Т. А. Желдак, Ю. А. Макуха, А. В. Балахонцев // Проблемы создания новых машин и технологий. – 1999. – Вып. 1. – С. 112–115. 10. Родькин, Д. И. К определению

послеремонтной работоспособности асинхронных двигателей [Текст] : тр. КГПИ / Д. И. Родькин, А. П. Черный // Проблемы создания новых машин и технологий. – 2001. – Вып. 2. – С. 40–47. **11.** Kral, C. Vienna monitoring method – detection of faulty rotor bars by means of a por table measure ment system [Text] / C. Kral, F. Pirker //International conference on electrical machines (ICEM-2000). –Helsenki University of technology, Espoo, Finland, 2000. – P. 873–877. **12.** Delmotte, C. Comparison of two modeling method for induction machine study: application to diagnosis [Text] : inter. conf. / C. Delmotte, H. Henaо, G. Ekwe, P. Brochet, G.-A. Capolino // Electrical machines (ICEM-2002). – Old St. Jan Conference Center, Brugge, Belgium. – Conference Record, 2002. **13.** Bellini, A. Towards a correct quantification of induction machines broken bars through input electric signals [Text] : inter. conf. / A. Bellini, F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni // Electrical machines (ICEM-2000). –Helsenki University of technology, Espoo, Finland, 2000. – P. 781–785. **14.** Нури, Абделбассет Диагностика короткозамкнутых роторов асинхронных электроприводов электротехнических комплексов [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / Нури Абделбассет. – ДонНТУ. – Донецк, 1997. **15.** Ипатов, П. М. Витковыезамыкания в петлевых обмотках асинхронных машин [Текст] / П. М. Ипатов, В. В. Домбровский, Ю. Л. Цирлин // Вестникэлектропромышленности. – 1962. – № 7. – С. 36–43. **16.** Meshgin, H. Effectsofair-gаресcentri city on the power factor of squirrel cage in ducti on machines [Text] : inter. conf. / H. Meshgin, J. Milimonfared // Electrical machines (ICEM-2002). – OldSt. Jan Conference Center, Brugge, Belgium. – ConferenceRecord, 2000. **17.** Rogozin, G. G. Vliyaniye neravnomernosti vozdušno gozazorana elektromagnitnyye parametry i perekhodnyye protsessy rotora pri otklyuchenii asinkhronnykh dvigateley [Text] / G. G. Rogozin // Sbornik nauchnykh trudov DonGTU. Seriya: elektrotehnika i energetika. – 2000. – № 17. – P. 158–164.

Bibliography (transliterated): **1.** Technical maintenance according to real state. Available at: http://www.systematic.ru/tehnicheskoe_obslyuzhivanie_po_fakticheskomu_sostoyaniyu.html. **2.** Homytov, S. O., Kobozev, E. V. (2006). Prognostication of probability of survival electric motors on basis of the quantitative estimate of influencing factor level. VestnikAltGTUim. I.I. Polzunova, 2, 4–8. **3.** Technology of the maintenance according to real state. Available at: <http://www.vdmk.com/information/tofs.htm>. **4.** Holodenin, A. A. (2012). Technical maintenance strategy comparison of the electric equipment. X regionalnaykonferentsiya «Vuzovskayanauka - Severo-Kavkazkomuregionu». Available at: <http://www.ncstu.ru> **5.** Homytov, S. O. (2010). Complex actions on increasing of reliability of the electric motors in agriculture on base of the reliable diagnostics methods and efficient technology of the insulation restoration. Polzunovskiyvestnik, 4/2, 70-76. **6.** Radchenko, V. V. (1999). Diagnostika izolyatsii statornykh obmotok vysokovol'tnykh dvigateley nefteperekachivayushchikh stantsiy na rabochem napryazhenii. Truboprovodnyy transport, 3, 40-45. **7.** Homytov, S. O. (2010). Complex actions on increasing of reliability of the electric motors in agriculture on base of the reliable diagnostics methods and efficient technology of the insulation restoration. Polzunovskiyvestnik, 4/2, 70-76. **8.** Petukhov, V. S. (2008). Diagnostika elektrodvigateley. Spektral'nyy analiz moduley vektorov Parka napryazheniyai toka. Available at :<http://www.news.elteh.ru/arh/2008/49/10.php> **9.** Beshta, A. S., Kuvayev, YU. V., Zheldak, T. A., Makukha, YU. A., Balakhontsev, A. V. (1999). Opredeleniye parametrov skhemy zameshcheniy aasinkhronnogo dvigatelya s korotkozamknutym rotorom poperekhodnomu protsessu v obmotke statora. Trudy KGPI "Problemy sozdaniya novykh mashin I tekhnologiy", 1, 112–115. **10.** Rod'kin, D. I., Chernyy, A. P. (2001). K opredeleniyuposleremontnoyrabotosposobnostiasinkhronnykhdvigateley, 2, 40-47. **11.** Kral, C., Pirker, F. (2000). Viennam onitoringmethod – detection of faulty rotor barsbymeansofapor tablemea surement system. International conference on electrical machines (ICEM-2000). Helsenki University of technology, Espoo, Finland, 873–877. **12.** Delmotte, C., Henaо, H., Ekwe, G., Brochet, P., Capolino, G.-A. (2000). Comparison of two modeling method for induction machine study: application to diagnosis. International conference on electrical machines (ICEM-2002). Old St. Jan Conference Center, Brugge, Belgium. Conference Record. **13.** Bellini, A., Filippetti, F., Franceschini, G., Tassoni, C. (2000). Towards a correct quantification of induction machines broken bars through input electric signals. International conference on electrical machines (ICEM-2000). Helsenki University of technology, Espoo, Finland, 781-785. **14.** Nuri, Abdelbasset (1997). Diagnostika

korotkozamknutykh rotorov asinkhronnykh elektroprivodov elektrotekhnicheskikh kompleksov. DonNTU, Donetsk. **15.** Ipatov, P. M., Dombrovskiy, V. V., Tsirlin, YU. L. (1962). Vitkovyye zamykaniya v petlevykh obmotkakh asinkhronnykh mashin. Vestnik elektropromyshlennosti, 7, 36–43. **16.** Meshgin, H., Milimonfared, J. (2002). Effect of air-gap eccentricity on the power factor of squirrel cage induction machines. International conference on electrical machines. Old St. Jan Conference Center, Brugge, Belgium. Conference Record. **17.** Rogozin, G. G., Mironenko, I. A. (2000). Vliyaniye neravnomernosti vozduzhnogo zazora na elektromagnitnyye parametry i perekhodnyye protsessy rotora pri otklyuchenii asinkhronnykh dvigateley. Sbornik nauchnykh trudov DonGTU. Seriya: elektrotehnika i energetika, 17, 158–164.

Надійшла (received) 25.05.2014

УДК 64.04:658.52

О. В. ГОНДЛЯХ, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;

В. Ю. ОНОПРИЄНКО, студент, НТУУ «КПІ», Київ;

Р. Є. НІКІТІН, студент, НТУУ «КПІ», Київ

ЕВОЛЮЦІЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ АЕС З УРАХУВАННЯМ ЗОН РУЙНУВАННЯ ВІД ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

На базі системи розрахунку на міцність АПРОКС розроблена математична модель та проведено чисельне моделювання процесів руйнування захисної оболонки АЕС в тривимірній постановці, враховуючи шари бетону з армоканатами, від впливу сейсмічних навантажень. Приведено результати чисельного моделювання зміни напружено-деформованого стану в захисній оболонці АЕС з урахуванням розриву попередньо напружених армоканатів.

Ключові слова: чисельне моделювання, захисна оболонка АЕС, сейсмічне навантаження, армоканати, напружено-деформований стан.

Вступ. Надійність експлуатації АЕС, її дієздатність в нормальних, перехідних і аварійних режимах, працездатність допоміжного обладнання, що охолоджується, безпосередньо залежать від ступеня захисту АЕС в цілому. Захист виконується від усіх можливих зовнішніх факторів, таких як: землетрус, падіння літака на АЕС, ударна хвиля від вибуху, повінь, цунамі та ін. Захисна оболонка (ЗО) АЕС захищає навколишнє середовище від радіоактивного випромінювання, пожежі, вибухів які можуть виникати в наслідок аварії. Особлива увага при проектуванні контейментів приділяється питанням надійності, від чого безпосередньо залежить безпека функціонування АЕС. Це вимагає ретельного аналізу і врахування конструктивних особливостей, всебічного дослідження поведінки ЗО в аварійних ситуаціях, імовірність виникнення яких особливо збільшується при особливих динамічних впливах на споруди та обладнання станції. Напруження та деформації в оболонці в умовах аварії визначаються: внутрішнім тиском, нерівномірним полем температур при стаціонарних та аварійних режимах роботи, можливих сейсмічних впливів, як на конструкцію в цілому так і на окремі частини обладнання.

Експериментальний підхід (моделювання на маломасштабних моделях, натурні випробування на стендах) мають декілька суттєвих недоліків. По-перше контейменти АЕС та випробувальні стенди для них є унікальними і витратними

© О. В. ГОНДЛЯХ, В. Ю. ОНОПРИЄНКО, Р. Є. НІКІТІН, 2014

виробами, і не завжди існує можливість виготовити декілька зразків і випробувальних стендів, по-друге існують технічні складності відтворення того чи іншого режиму під час експерименту, що може бути неможливим.

Землетруси відносяться до числа найбільш небезпечних стихійних лих для споруд, будівель та обладнання атомних електростанцій. Таким чином, національні та міжнародні організації мають встановити норми та вимоги до сейсмічної конструкції кожної АЕС [1-3].

Катастрофи на АЕС Фукусіма-I і Фукусіма-II в Японії навесні 2011 року показали, що традиційні методи сейсмічного аналізу захисних оболонок АЕС потребують поліпшення, особливо щодо сильних землетрусів. При розробці обчислювальних методів для сейсмічного аналізу, слід також враховувати той факт, що сейсмічні хвилі діють разом з експлуатаційними та аварійними навантаженнями. Вони повинні бути враховані при чисельному аналізі сейсмічних впливів на конструкції, що включає внутрішній тиск, власну вагу конструкцій та обладнання, нелінійну взаємодію захисної оболонки з ґрунтом. Для попередньо напружених захисних оболонок, слід також додати навантаження від натягу армоканатів.

Недостатня інформація про характеристики впливів, складність і висока вартість проведення експериментів на фізичних моделях і натурних об'єктах при оцінці міцності та надійності споруд і обладнання атомних станцій висувують на перший план розробку ефективних методів математичного моделювання: розробку уточнених математичних моделей, розробку методів і програм розрахунків на міцність оболонок та обладнання АЕС, проведення обчислювальних експериментів, тощо.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Хоча дослідженням, спрямованим на вирішення задач такого типу, починаючи з 1960-х років приділяється велика увага у нашій країні і за кордоном методи розрахунків у більшості випадків мають невисоку точність. Це пов'язано зі складністю механічних і теплофізичних процесів, а також з невизначеністю умов розвитку аварійних ситуацій, що не дозволяє будувати математичні моделі без багатьох спрощуючих допущень. Побудова більш точних математичних моделей можлива лише з переходом на сучасні чисельні методи розрахунку, найбільше розповсюдження з яких отримав метод скінчених елементів (МСЕ).

У загальному випадку, для математичного моделювання сейсмічного впливу на залізобетонні конструкції АЕС класичним є динамічна задача механіки деформованого твердого тіла [4]. Розроблена математична модель, що пропонується у даній праці, на відміну від відомих, дозволяє досліджувати напружено-деформований стан (НДС) оболонки, враховуючи основні чинники, що впливають на її роботу в аварійних режимах (сейсмічна хвиля та як наслідок аварії після землетрусу – розрив армоканатів).

Головною вимогою до побудови математичної моделі, була можливість отримання шуканого рішення за якомога коротший термін, тому важливе місце при її відводилося питанню вибору ефективного скінченого елемента (СЕ). Захисна оболонка являє собою складну просторову конструкції що має криволінійні обриси. Якщо описання поверхні такої конструкції робити за

допомогою класичних СЕ, то для достатньо точної апроксимації її геометрії та НДС потрібна дуже велика кількість елементів. Найбільш доцільно для опису подібної геометрії використовувати елементи криволінійного обрису, де коефіцієнти матриці жорсткості визначаються на основі співвідношень моментної схеми МСЕ [5,6]. Цей метод базується на неявному урахуванні жорстких зсувів шляхом поліпшення властивостей матриці жорсткості, яка використовується для корекції частин виразів для обчислення їх коефіцієнтів, що визначають збіжність і точність наближених значень, за рахунок часткового порушення геометричних рівнянь, що зв'язують переміщення і деформації [7]. Також, це дозволяє при задаванні границь тіла обійтися меншою кількістю елементів, тобто зменшити кількість невідомих при розв'язанні системи рівнянь, а в результаті – час вирішення задачі.

Ціль та задачі дослідження. Незалежно від типу реактора і особливостей експлуатації ядерних установок, що використовуються, невід'ємною їх частиною є захисні оболонки. Захисні оболонки повинні як захищати реактор від дії зовнішніх катастрофічних навантажень, так і забезпечувати захист навколишнього середовища у випадку виникнення незапланованих ситуацій, або аварій. При проектуванні обладнання атомних електростанцій необхідно приділяти велику увагу надійності і довговічності роботи захисних оболонок.

Залізобетонні попередньо напружені захисні оболонки мають такі недоліки. По-перше, недостатня надійність основних елементів оболонки - напруженої арматури (можливий розрив або втрата напруги в деякій частині цих елементів). Внаслідок можливої втрати напруги доводиться передбачати можливість контролю арматури в експлуатаційний період і можливість підтяжки пучків у разі необхідності. По-друге, поєднання навантажень від впливу зусиль попереднього обтиснення, внутрішнього тиску, температури і динамічних навантажень, використання для стінок оболонки матеріалів з різними фізико-механічними властивостями, застосування різних конструктивних рішень у вигляді отворів, елементів жорсткості, що викликають концентрацію напруг, визначення часу роботи матеріалів, що зазнали пружних і пластичних деформацій і що зазнають силові дії по трьох осям. Все це перетворює розрахунок напруженого стану оболонки в складне завдання.

Теоретичні основи визначення НДС та міцності захисних оболонок. Як відомо, широкий вибір методів вирішення задач динаміки [8] не дозволяє виділити якийсь домінуючий метод, який би задовольняв усьому спектру вимог, запропонованих для адекватного опису різноманітних за умовами протікання процесів. У зв'язку з цим широке застосування в інженерній практиці знайшли такі методи, як: метод центральних різниць, метод Ньюмарка, θ - метод Вілсона, метод Хоболта [9] й ін., важливе значення при виборі яких мають такі характеристики, як точність, стійкість і ефективність.

Аналіз методів чисельного інтегрування рівнянь руху [5,10,11] дозволяє судити про абсолютну стійкість таких методів, як метод Ньюмарка, θ - метод Вілсона, метод Хоболта, причому, при порівнянні точності цих методів, похибки методу Ньюмарка, викликані штучним загасанням і подовженням періоду коливань, із збільшенням кроку ростуть повільніше, ніж в інших методах [12].

Також можна відзначити, що при однакових кроках за часом похибки методу Ньюмарка нижчі, ніж у методів Вілсона і Гартіна [13].

У зв'язку з тим, що конструкція представляє собою багатошарову систему та її руйнування (рис. 1, а – г). В ній навіть однорідні шари в процесі руйнування можуть перетворитися в багатошарові тому використовуються основні положення ітераційно-аналітичної теорії.

Для опису НДС в конструкції використовується восьми вузловий криволінійний скінченний елемент з полілінійним законом

доповнення функцій переміщень. Побудова матриці жорсткості уточненого восьми вузлового СЕ виконується відповідно до загальної процедури моментної схеми скінченних елементів, розробленої професором О.С. Сахаровим [14].

Використовуючи варіаційний принцип і наслідуючи традиційну для МССЕ процедуру, отримуємо вирази для варіацій енергії деформацій і кінетичної енергії СЕ:

$$\delta W_{CE} = \sum_{r=1}^8 \sum_{t=1}^8 \left[g_{rt}^{t'p'} + \tilde{g}_{rt}^{t'p'} \right] u_{t'}^{(r)} \delta u_{p'}^{(t)} = \sum_{r=1}^8 \sum_{t=1}^8 \left[G_{rt}^{t'p'} \right] u_{t'}^{(r)} \delta u_{p'}^{(t)}; \quad (1)$$

$$\delta K_{CE} = \sum_{r=1}^8 \sum_{t=1}^8 \left[m_{rt}^{t'p'} + \tilde{m}_{rt}^{t'p'} \right] \ddot{u}_{t'}^{(r)} \delta u_{p'}^{(t)} = \sum_{r=1}^8 \sum_{t=1}^8 \left[M_{rt}^{t'p'} \right] \ddot{u}_{t'}^{(r)} \delta u_{p'}^{(t)}; \quad (2)$$

Розроблений уточнений восьмивузловий багатошаровий скінченний елемент має відмінну особливість: до $g_{rt}^{t'p'}$ в (1) - коефіцієнти матриці жорсткості СЕ з полілінійним законом розподілу функцій переміщень із врахуванням МССЕ, додаються $\tilde{g}_{rt}^{t'p'}$ — додаткові коефіцієнти матриці жорсткості уточненого СЕ, що враховують вплив неоднорідності розподілу деформацій поперечного зсуву й обтиснення; та $m_{rt}^{t'p'}$ в (2) - коефіцієнти матриці мас СЕ з полілінійним законом розподілу функцій переміщень, що враховують інерцію від поступального руху СЕ й інерцію СЕ від узагальненого зсуву, додаються $\tilde{m}_{rt}^{t'p'}$ — коефіцієнти матриці мас СЕ, що враховують інерцію, викликану неоднорідністю деформацій поперечного зсуву й обтиснення; $G_{rt}^{t'p'}$ — коефіцієнти матриці жорсткості уточненого СЕ; $M_{rt}^{t'p'}$ — коефіцієнти матриці мас уточненого СЕ [15].

Цей СЕ був розроблений у системі Автоматизації розрахунків на міцність оболонкових і комбінованих систем АПРОКС. Практика використання цього СЕ при розв'язанні великої кількості тестових і прикладних задач засвідчила його ефективність при дослідженні процесів нелінійного деформування і руйнування однорідних по товщині і багатошарових просторових конструкцій.

В зв'язку з тим, що при деформуванні в конструкціях оболонки можуть

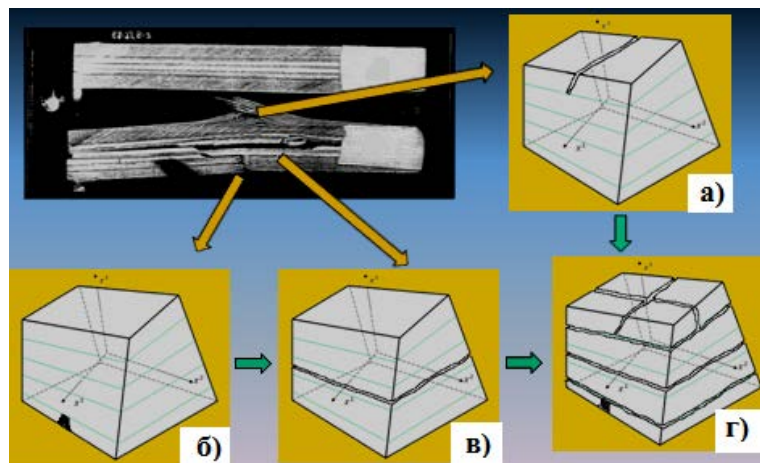


Рис. 1 – Схеми руйнування багатошарового КЕ: а – розрив шару; б – змінання шару; в – зрушення шару; г – зруйнований шар

виникати зони руйнування - використовувалась ітераційно-аналітична корекція функцій апроксимації компонент вектора переміщення SE в залежності від фізично нелінійних процесів, які протікають в шарах матеріалу при деформуванні конструкції (рис. 2).

В першому випадку - апроксимуючі функції SE знаходяться у вихідному стані матеріалу шарів (рис. 2, а). В другому випадку апроксимуючі функції SE при виникненні пластичних зон деформування в шарах (рис. 2, б); В останньому - апроксимуючі функції SE при виникненні зон руйнування в шарах (рис. 2, в).

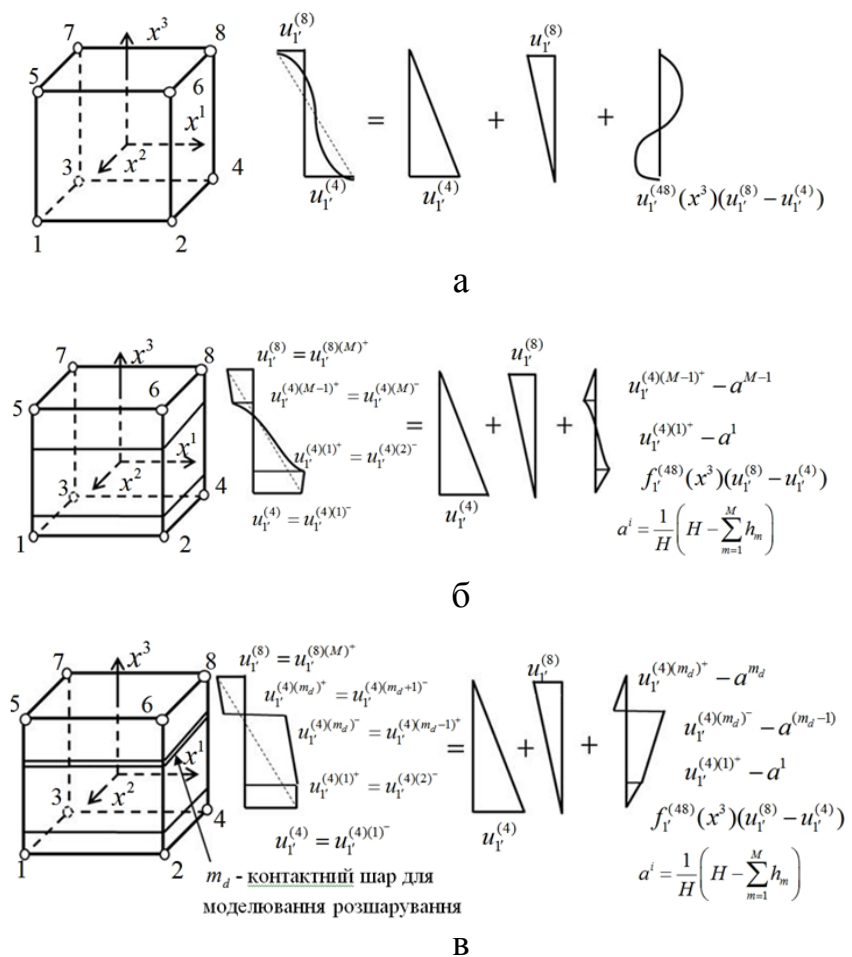


Рис. 2 – Апроксимація компонент вектора переміщень: а – однорідного по товщині уточненого восьмивузлового SE; б – багат шарового уточненого восьмивузлового SE; (h_m - товщина m -го шару; H - загальна товщина пакета шарів); в – багат шарового уточненого восьмивузлового SE в разі розшарування з урахуванням тертя; (h_m - товщина m - го шару; H - загальна товщина пакета шарів)

Числовий аналіз міцності захисної оболонки. Апробація розробленої математичної моделі захисної оболонки виконувалася в рамках програмного комплексу розрахунків на міцність АПРОКС, який був допрацьований з метою підвищення ефективності процесу задання вихідних даних для розрахунків складних просторових конструкцій та забезпечення можливості візуалізації скінчено-елементної моделі та задання параметрів динамічного навантаження.

На (рис. 3) представлено етапи розробки моделі захисної оболонки: а) скінчено-елементна модель; б) схема розташування армоканатів в місці гермопроходки; в) та характерна акселерограма землетрусу.

В результаті чисельного моделювання було виявлено напружено-деформований стан, що виникає в захисній оболонці від дії сейсмічного навантаження в різні моменти часу (рис. 4): а) момент поштовху; б) вертикальний рух хвилі; в) концентрація напружень в місцях гермопроходок; г) концентрація

напружень в місцях технологічних каналів.

Аналіз НДС оболонки при її динамічній деформації свідчить про те, що хвиля землетрусу направляється вертикально, після чого вона відбивається на куполі.

Далі розповсюджується по всій конструкції.

В результаті аналізу чисельного моделювання було виявлено максимальні головні напруження в захисній оболонці за умов розриву двох канатів,

розташованих «хрест на хрест» (рис. 5, а) та двох канатів, розташованих паралельно один одному (рис 5, г), за якими

виявлено можливі зони руйнування (рис. 5 б, в) в наслідок дії горизонтальної сейсмічної хвилі упродовж 20 секунд.

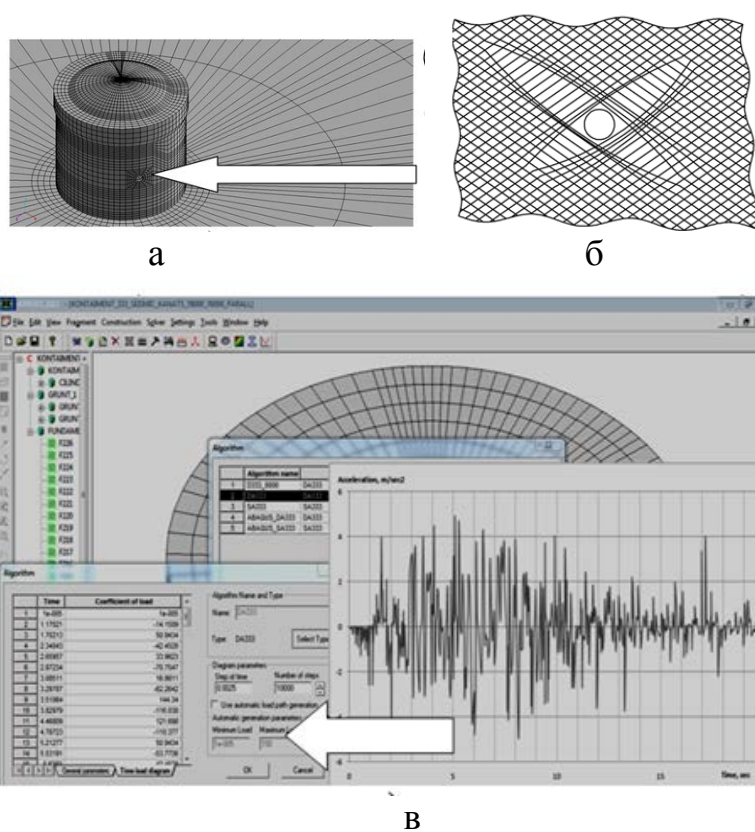


Рис. 3 - Розробка моделі захисної оболонки АЕС: а – скінчено-елементна модель; б – розташування армоканатів в зоні гермопроходки; в – акселерограма землетрусу

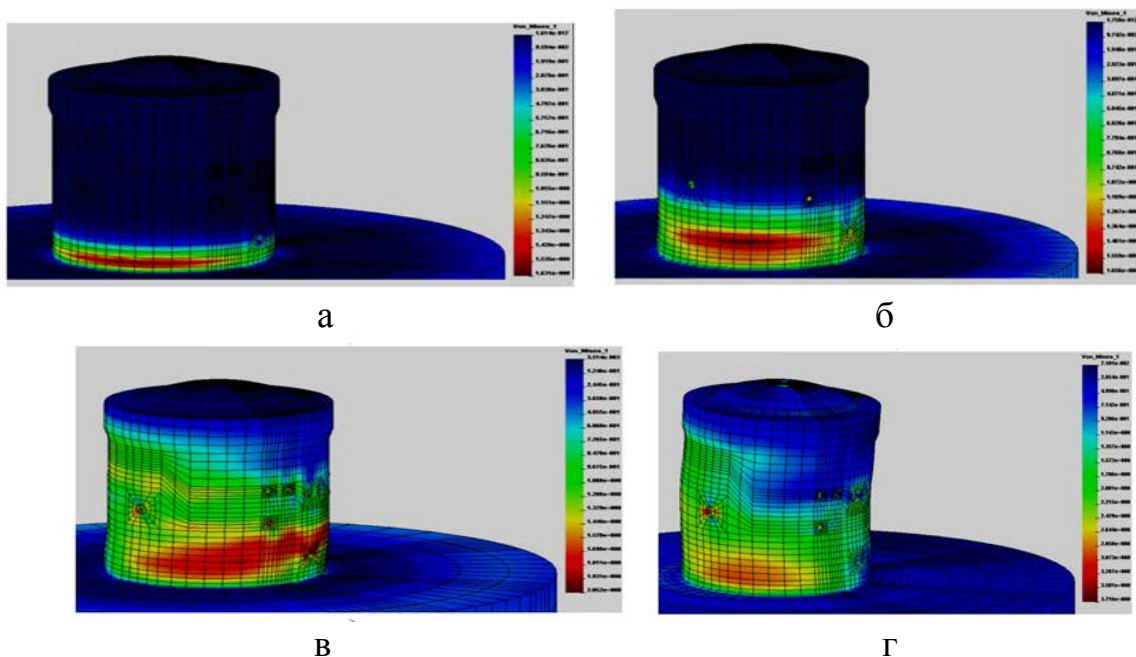


Рис. 4 – Напружено-деформований стан, що виникає в захисній оболонці від дії сейсмічних навантажень в різні моменти часу: а – 1 сек.; б – 5 сек.; в – 10 сек.; г – 20 сек

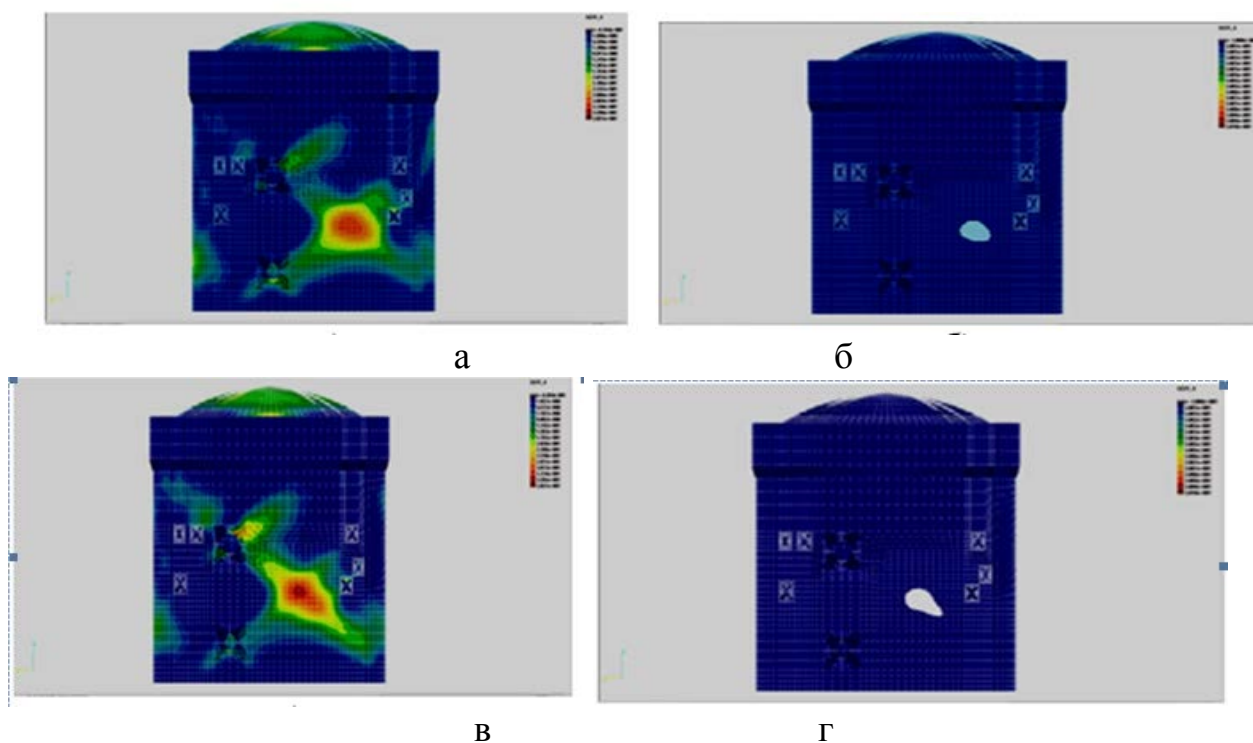


Рис. 5 – Результати розрахунку: а – максимальні головні напруження в ЗО (розрив двох канатів розташованих «хрест на хрест»); б – максимальні головні напруження в ЗО (розрив двох канатів розташованих паралельно один одному); в – зона руйнування в ЗО (розрив двох канатів розташованих «хрест на хрест»); г – зона руйнування в ЗО (розрив двох канатів розташованих паралельно один одному)

Висновки. На базі розрахунків можна зробити попередній висновок про сейсмостійкості аналогічних конструкцій. Від них напряду залежить безпека експлуатації обладнання АЕС.

Аналіз результатів розрахунку на міцність захисної оболонки показав, що під час землетрусу контаймент перебуває у складному напружено-деформований стан. У місці різкої зміни форми та конфігурації утворюються зони концентрації напружень.

В місцях розриву канатів утворюються локальні зони руйнування.

У зв'язку з цим пропонується приділяти підвищену увагу зазначеним зонам при подальшій експлуатації цього типу захисних оболонок. Результати роботи планується впровадити в енергетичній промисловості при проектуванні та експлуатації атомних електростанцій.

Список літератури: 1. ASCE 4-98. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary [Text] / ASCE Standards, USA, 2000, p. 24-30. 2. GB 50011-2001. Code for Seismic Design of Buildings [Text] / National Standard of the People's Republic of China, Beijing, 2001, p. 94-101. 3. ENV 1998-1-6:2004. Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, CEN, Bruxelles, 2004, p. 161-187. 4. Zienkiewicz, O. The finite element method. Vol. 2: Solid mechanics [Text]: Fifth ed. / O. Zienkiewicz, R. Taylor. – Butterworth-Heinemann: Oxford, 2000, p. 221-239. 5. Сахаров, О. С. Исследование устойчивости осесимметричных оболочек при больших перемещениях с учетом физической нелинейности [Текст] / О. С. Сахаров, А. И. Гуляев, В. Н. Кислооккий // Проблемы прочности. – 1974. – № 6. – С. 42–47. 6. Сахаров, О. С. Исследование сходимости метода конечных элементов в задачах пластин и оболочек [Текст] /

О. С. Сахаров, Н. А. Соловей // Пространственные конструкции зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1977, С. 10-15. **7.** Сахаров, О. С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / О. С. Сахаров та ін. // К.: Вища школа, 1982, С. 214–279. **8.** Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов [Текст] / К. Бате, Е. Вилсон // М.: Стройиздат, 1982,-С. 173-188. **9.** Karamanlidis, D. The Linear Acceleration Time Integration Method revisited [Text] / D. Karamanlidis. // Journal of Sound and Vibrations, 1987, 115, №3, p.379-385. **10.** Теннисон, Р. С. Приложение кубического условия прочности к анализу разрушения слоистых композитов [Текст] / Р. С. Теннисон, Г. Е. Варрам, Г. Эллиот // Прочность и разрушение композитных материалов: Зинатне, 1983, С. 127-135. **11.** Karamanlidis, D. Simple and efficient curved beam element for the linear and non-linear analysis of laminated composite structures [Text] / D. Karamanlidis // Computers and structures, 29, №4, 1988, p.623-632. **12.** Bathe, K. Stability and accuracy of direct integration methods [Text] / K. Bathe, E. Wilson // Earthquake engineering and structural dynamics, 1973, vol.1, p.283-291. **13.** Nickell, R. On the stability of approximation operators in problem of structural dynamics [Text] / R. Nickell // Int. Journal Solids Structures, 1971, 7, p.499-520. **14.** Сахаров, О. С. Модификация метода Ритца для расчета массивных тел на основе полиномиальных разложений с учетом жестких смещений [Текст] / О. С. Сахаров // Соппротивление материалов и теория сооружений. — К.: Будівельник. 1974. — № 23. — С. 47-52. **15.** Гондляр О. В. Уточнений скінченний елемент користувача для моделювання в ABAQUS процесів розшарування багатопарових конструкцій [Текст] / О. В Гондляр // Наук. вісті НТУУ "КПІ". - 2012. - № 2. - С. 114-122.

Bibliography (transliterated): **1.** ASCE 4-98. (2000). Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. ASCE Standards, USA, p. 24-30. **2.** GB 50011-2001 (2001). Code for Seismic Design of Buildings. National Standard of the People’s Republic of China, Beijing, p. 94-101. **3.** ENV 1998-1-6:2004 (2004). Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures. CEN, Bruxelles, p. 161-187. **4.** Zienkiewicz, O., Taylor, R. (2000). The finite element method. Vol. 2: Solid mechanics. Fifth ed. Butterworth-Heinemann: Oxford, p. 221-239. **5.** Sakharov, A. S., Gulyar, A. I., Kislookii, V. N. (1974). Investigation of the stability of axisymmetric shells with large displacements, taking into account the physical nonlinearity. - Strength of Materials, 6, p. 42–47. **6.** Sakharov, A. S., Solovey, N. A. (1977). Convergence of the finite element method in problems of plates and shells. Spatial structures and buildings. Stroiizdat, Moscow, p. 10-15. **7.** Sakharov, A. S., etc. (1982). The finite element method in the mechanics of solids. K. High School, p. 214-279. **8.** Bathe, K. Wilson, E. (1982). Numerical methods of analysis and finite element method. - M: Stroyizdat, p 173-188. **9.** Karamanlidis, D. (1987). The Linear Acceleration Time Integration Method revisited. Journal of Sound and Vibrations, 115, № 3, p.379- 385. **10.** Tennyson, R. S., Warram, G. E., Elliot, G. (1983). Appendix cubic terms to the analysis of fracture strength of layered composites. Strength and fracture of composite materials, Zinatne, p.127 -135. **11.** Karamanlidis, D. (2007). A simple and efficient curved beam element for the linear and non-linear analysis of laminated composite structures. Computers and structures, 29, № 4, p.623- 632. **12.** Bathe, K., Wilson, E. (1973). Stability and accuracy of direct integration methods. Earthquake engineering and structural dynamics, vol.1, p.283- 291. **13.** Nickell, R. E. (1971). On the stability of approximation operators in problem of structural dynamics. Int. Journal Solids Structures, 7, p.499- 520. **14.** Sakharov, A. S., (1974). Modification of the Ritz method to calculate the massive bodies on the basis of polynomial expansions to meet the stringent displacement. Strength of materials and theory of structures. Budivelnik. № 23. p. 47-52. **15.** Gondlyakh, A., (2012). Refined finite element modeling for user processes in ABAQUS bundle multilayer structures. Science. news "KPI". № 2. p. 114-122.

Надійшла (received) 15.05.2014

А. І. КУБРАК, канд. техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;

О. А. ЖУЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ», Київ

ПЕРЕДАТНІ ФУНКЦІЇ ТА ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТИПУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СТІНКИ

Представлені передатні функції та частотні характеристики циліндричної теплоакумуючої стінки як об'єкта з розподіленими параметрами у залежності від граничних умов на зовнішній і внутрішній поверхнях. Було запропоновано кілька нетривіальних способів для розрахунку частотних характеристик циліндричних теплоакумуючих стінок. Отримані результати можуть бути використані при синтезі систем керування.

Ключові слова: передатна функція, частотна характеристика, циліндрична теплоакумуюча стінка, граничні умови.

Вступ. Практично всі реальні об'єкти керування в хімічній, харчовій, металургійній, нафтопереробній та інших галузях промисловості, фактично у всій сфері людської діяльності, є об'єктами з розподіленими параметрами. Лише у деяких часткових випадках (хоча і достатньо вживаних на практиці) такі об'єкти можна звести з прийнятною похибкою до відповідних зосереджених об'єктів [1]. По мірі ускладнення об'єктів і підвищення вимог до точності та адекватності їх моделювання подібні спрощення у багатьох ситуаціях стають неможливими і вимагають урахування їх якісної специфіки як об'єктів з розподіленими параметрами. Все це викликає потребу у створенні якісних математичних моделей для типових об'єктів з розподіленими параметрами.

Аналіз досліджень і публікацій. Математичне моделювання об'єктів з розподіленими параметрами успішно розвивається у світі вже більше півстоліття. Аналітичні методи розрахунку таких моделей можна розділити на точні та приблизні [2].

У роботах [3, 4] точний розв'язок задач наводиться для найбільш простих систем, які описуються одним рівнянням у частинних похідних 1-го або 2-го порядку. Розв'язки отримані методами перетворення Фур'є, Лапласа, методом джерел, розщеплювання змінних.

У роботах [5, 6] застосовуються методи, які зводять розв'язок до системи інтегральних рівнянь типу Вольтера, Фредгольма, використанню функцій Рімана.

При спробах розповсюдити ці методи на розв'язання практичних задач, зокрема задач, пов'язаних із системами автоматичного керування, виникають значні труднощі.

Відомі роботи, наприклад [7], у яких отримані трансцендентні передатні функції об'єктів з розподіленими параметрами. Але на жаль ці методи мають занадто загальний характер і не завжди можуть бути застосовані при синтезі систем керування реальними об'єктами.

Постановка задачі досліджень. У даній роботі обраний шлях дослідження ґрунтується на таких міркуваннях:

1) розглядати тільки теплові об'єкти з розподіленими параметрами як найбільш поширені у промисловості;

2) математичну модель об'єктів з розподіленими параметрами отримати у вигляді передатної функції, як найбільш придатної для подальших досліджень з точки зору аналізу і синтезу систем керування за допомогою існуючих програмних засобів (MathCad, MatLab).

Сформульовані обмеження щодо класу досліджуваних об'єктів залишаються все ж таки занадто «слабкими», якщо мати на увазі обсяг наукової статті. Тому з метою звужити клас досліджуваних об'єктів, а також враховуючи, що багато об'єктів хімічної, харчової, нафтопереробної, металообробної та інших галузей промисловості з точки зору їх математичного моделювання як об'єктів з розподіленими параметрами можуть розглядатися як циліндричні теплоакуючі стінки, метою даної роботи є розробка математичної моделі теплового об'єкта, який може бути представлено у вигляді циліндричної теплоакуючої стінки, у вигляді передатної функції.

Передатні функції циліндричної теплоакуючої стінки. Одновимірне диференціальне рівняння теплопровідності в циліндричній системі координат має вигляд

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right). \quad (1)$$

Виконаємо над ним перетворення Лапласа за нульових початкових умов

$$\frac{d^2 \bar{\theta}}{dx^2} + \frac{1}{r} \frac{d \bar{\theta}}{dr} - \frac{p}{a} \bar{\theta} = 0. \quad (2)$$

Введемо заміну змінної $r = \frac{x}{\sqrt{\frac{p}{a}}}$, тоді рівняння (2) після спрощення набуде

вигляду

$$\frac{d^2 \bar{\theta}}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{d \bar{\theta}}{dx} - \bar{\theta} = 0.$$

Це частинний випадок (при $m=0$) так званого модифікованого диференціального рівняння Бесселя [8-10]

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} - \left(1 + \frac{m^2}{x^2} \right) y = 0. \quad (3)$$

Розв'язок (3) доцільно представити таким чином:

$$y = C_1 I_0(x) + C_2 K_0(x), \quad (4)$$

де I_0 і $K_0(x)$ – модифіковані функції Бесселя I і II роду нульового порядку. Розкладання у ряд для цих функцій має наступний вигляд

– при малих значеннях x

$$I_0(x) = 1 + \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \frac{\left(\frac{x}{2} \right)^4}{1^2 \cdot 2^2} + \frac{\left(\frac{x}{2} \right)^6}{1^2 \cdot 2^2 \cdot 3^2} + \dots$$

$$K_0(x) = - \left(C + \ln \frac{x}{2} \right) I_0(x) + \frac{\left(\frac{x}{2} \right)^2}{(1!)^2} + \frac{\left(\frac{x}{2} \right)^4}{(2!)^2} \left(1 + \frac{1}{2} \right) + \frac{\left(\frac{x}{2} \right)^6}{(3!)^2} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right) + \dots$$

– при великих значеннях x

$$I_0(x) = \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}} \left(1 + \frac{1^2}{1!8x} + \frac{1^2 3^2}{2!(8x)^2} + \frac{1^2 3^2 5^2}{3!(8x)^3} + \dots \right),$$

$$K_0(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-x} \left(1 - \frac{1^2}{1!8x} + \frac{1^2 3^2}{2!(8x)^2} - \frac{1^2 3^2 5^2}{3!(8x)^3} + \dots \right),$$

де $C=0,5772157\dots$ – стала Ейлера.

Нагадаємо поведінку модифікованих функцій Бесселя при граничних значеннях аргументу

$$\begin{cases} I_0(x)|_{x \rightarrow 0} = 1 \\ I_0(x)|_{x \rightarrow \infty} = \infty \\ K_0(x)|_{x \rightarrow 0} = \infty \\ K_0(x)|_{x \rightarrow \infty} = 0 \end{cases}.$$

Похідні від $I_0(x)$ і $K_0(x)$ визначаються наступним чином:

$$\frac{dI_0(x)}{dx} = I_1(x),$$

$$\frac{dK_0(x)}{dx} = -K_1(x).$$

Розкладення в ряди для малих значень аргументу дає

$$I_1(x) = \frac{x}{2} + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^3}{1^2 \cdot 2} + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^5}{1^2 \cdot 2^2 \cdot 3} + \dots$$

$$K_1(x) = \frac{1}{x} I_0(x) + \left(\ln \frac{x}{2} + C\right) I_1(x) - \frac{x}{2} - \frac{x^3}{2^2 \cdot 4} \left(1 + \frac{1}{2}\right) - \frac{x^5}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) - \dots.$$

Асимптотичні ряди (для великих значень x) будуть

$$I_1(x) = \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}} \left(1 - \frac{4-1^2}{1!8x} + \frac{(4-1^2)(4-3^2)}{2!(8x)^2} - \dots \right),$$

$$K_1(x) = e^{-x} \sqrt{\frac{\pi}{2x}} \left(1 + \frac{4-1^2}{1!8x} + \frac{(4-1^2)(4-3^2)}{2!(8x)^2} + \dots \right).$$

При граничних значеннях аргументу функції $I_1(x)$ і $K_1(x)$ ведуть себе наступним чином:

$$\begin{cases} I_1(x)|_{x=0} = 0, \\ I_1(x)|_{x=\infty} = \infty, \\ K_1(x)|_{x=0} = -\infty \\ K_1(x)|_{x=\infty} = 0. \end{cases}$$

Відповідно з (4) розв'язок диференційного рівняння (2) будемо шукати у вигляді

$$\bar{\theta} = C_1 I_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + C_2 K_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right). \quad (5)$$

Для визначення постійних інтегрування C_1 і C_2 потрібно, зазвичай, задати граничні умови. Домовимося позначати граничні умови на внутрішній поверхні циліндра як N_{gv} (яке може набувати значень 1,2,3, що відповідає граничним умовам 1-го, 2-го та 3-го роду відповідно), на зовнішній поверхні – як N_{gz} (3

такими ж можливими значеннями 1,2,3 і відповідним змістом). Циліндр вважаємо в загальному випадку порожнистим, внутрішній радіус r_0 , зовнішній - r_1 .

Таким чином, результат розв'язання поставленої вище задачі повністю залежить від комбінації граничних умов на зовнішній та внутрішній поверхнях циліндра. У роботі [11] розглянуто деякі з можливих варіантів, наприклад, граничні умови на зовнішній і внутрішній поверхні 1-го та 3-го роду, на внутрішній поверхні 2-го роду, на зовнішній 3-го. Тепер розглянемо інші варіанти.

Варіант 1. $Ng_v = 1, Ng_z = 1$. У даному випадку граничні умови для рівняння (5) мають вигляд:

$$\begin{cases} \theta|_{r=r_0} = T_v(t) \\ \theta|_{r=r_1} = T_z(t) \end{cases}$$

де $T_v(t)$ та $T_z(t)$ – температура внутрішньої та зовнішньої поверхні циліндра відповідно. Перетворимо дану систему за Лапласом:

$$\begin{cases} \bar{\theta}|_{r=r_0} = \bar{T}(t) \\ \bar{\theta}|_{r=r_1} = \bar{T}(t) \end{cases}, \quad (6)$$

$$\text{де } \bar{\theta} = \int_0^{\infty} \theta \cdot e^{-pt} dt,$$

$$\bar{T}_v(p) = \int_0^{\infty} T_v(t) \cdot e^{-pt} dt,$$

$$\bar{T}_z(p) = \int_0^{\infty} T_z(t) \cdot e^{-pt} dt.$$

Підставляючи (6) у рівняння (5), маємо:

$$\begin{cases} \bar{T}_v(p) = C_1 \cdot J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + C_2 \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ \bar{T}_z(p) = C_1 \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + C_2 \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{cases}.$$

Використовуючи правило Крамера [16], знаходимо невідомі коефіцієнти C_1 та C_2

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} \bar{T}_v(p) & K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ \bar{T}_z(p) & K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{vmatrix}} = \frac{\bar{T}_v(p) \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - \bar{T}_z(p) \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right)},$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & \bar{T}_v(p) \\ J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & \bar{T}_z(p) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{vmatrix}} = \frac{\bar{T}_z(p) \cdot J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - \bar{T}_v(p) \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}.$$

Тоді рівняння (5) набуває вигляду

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{T}_v(p) \cdot K_0 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) - \bar{T}_z(p) \cdot K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right)}{Z_n(p)} \cdot J_0 \left(r \sqrt{\frac{p}{a}} \right) + \frac{\bar{T}_z(p) \cdot J_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) - \bar{T}_v(p) \cdot J_0 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right)}{Z_n(p)} \cdot K_0 \left(r \sqrt{\frac{p}{a}} \right), \quad (7)$$

де

$$Z_n(p) = J_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \cdot K_0 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) - K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \cdot J_0 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right).$$

Якщо рівняння (7) представити у вигляді

$$\bar{\theta} = W_{Tv \rightarrow \theta}(p, r) \cdot \bar{T}_v(p) + W_{Tz \rightarrow \theta}(p, r) \cdot \bar{T}_z(p),$$

де $W_{Tv \rightarrow \theta}(p, r)$ та $W_{Tz \rightarrow \theta}(p, r)$ – передатні функції за каналами «температура внутрішньої поверхні циліндра - температура циліндра за радіусом» та «температура зовнішньої поверхні циліндра – температура циліндра за радіусом» відповідно, тоді отримуємо шукані передатні функції.

$$W_{Tv \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[K_0 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \cdot J_0 \left(r \sqrt{\frac{p}{a}} \right) - J_0 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \cdot K_0 \left(r \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \right]}{Z_n(p)},$$

$$W_{Tz \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[J_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \cdot K_0 \left(r \sqrt{\frac{p}{a}} \right) - K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \cdot J_0 \left(r \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \right]}{Z_n(p)}.$$

Варіант 2. $Ngv=1$; $Ngz=2$. Граничними умовами для диференційного рівняння (5) будуть

$$\begin{cases} \theta|_{r=r_0} = T_v(t) \\ -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = Q_z(t) \end{cases},$$

де $Q_z(t)$ – зовнішній тепловий потік

Після перетворення за Лапласом та підстановки у (5) отримаємо

$$\begin{cases} \bar{T}_v(p) = C_1 \cdot J_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) + C_2 \cdot K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \\ -\frac{1}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot \bar{Q}_z(t) = C_1 \cdot J_1 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) + C_2 \cdot K_1 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \end{cases}.$$

Розрахуємо невідомі коефіцієнти за правилом Крамера:

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} \bar{T}_v(p) & K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \\ -\frac{\bar{Q}_z(t)}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} & -K_1 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} J_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) & K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \\ J_1 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) & -K_1 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) \end{vmatrix}} = \frac{\bar{T}_v(p) \cdot K_1 \left(r_1 \sqrt{\frac{p}{a}} \right) - \frac{\bar{Q}_z(t)}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot K_0 \left(r_0 \sqrt{\frac{p}{a}} \right)}{Z_n(p)}, \quad (8)$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & \bar{T}_v(p) \\ J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & -\frac{\bar{Q}_z(t)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}} \end{vmatrix}}{Z_n(p)} = \frac{\bar{T}_v(p) \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\bar{Q}_z(t)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)}, \quad (9)$$

де

$$Z_n(p) = J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right).$$

З урахуванням (8), (9) рівняння (5) має вигляд:

$$\bar{\theta} = \frac{\left\{ \left[\bar{T}_v(p) \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - \frac{\bar{Q}_z(t)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] \cdot J_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \left[\frac{\bar{Q}_z(t)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot J_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \bar{T}_v(p) \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] \cdot K_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right\}}{Z_n(p)}.$$

Тоді передатні функції $W_{T_v \rightarrow \theta}(p, r)$ (канал «температура внутрішньої поверхні циліндра - температура циліндра за радіусом») та $W_{Q_z \rightarrow \theta}(p, r)$ (канал «зовнішній тепловий потік – температура за радіусом») визначаються як

$$W_{T_v \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot J_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right]}{Z_n(p)},$$

$$W_{Q_z \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot J_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right]}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot Z_n(p)}.$$

Варіант 3. $Ngv=1, Ngz=3$. Граничні умови записуються таким чином

$$\begin{cases} \theta|_{r=r_0} = T_v(t), \\ -\frac{\lambda}{\alpha_1} \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \theta|_{r=r_1} - T_{sz}(t), \end{cases}$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу циліндра; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього середовища до поверхні циліндра. Перетворюючи дані рівняння за Лапласом і підставляючи їх у (5), дістаємо:

$$\begin{cases} \bar{T}_v(p) = C_1 \cdot J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + C_2 \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ -\frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot \left[C_1 \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - C_2 \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] = C_1 \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + C_2 \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - \bar{T}_{sz}(p) \end{cases}.$$

Невідомі коефіцієнти розраховуємо за формулами

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} \bar{T}_v(p) & K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ -\bar{T}_{sz}(p) \cdot \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ -\left[J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)\right] & \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{vmatrix}} = \frac{\bar{T}_v(p) \cdot \left[\frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)\right] + \bar{T}_{sz}(p) \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)}$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & \bar{T}_v(p) \\ -\left[J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)\right] & -\bar{T}_{sz}(p) \end{vmatrix}}{Z_n(p)} = \frac{-\bar{T}_{sz}(p) \cdot J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \bar{T}_v(p) \cdot \left[J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)\right]}{Z_n(p)}, \text{ де}$$

$$Z_n(p) = J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot \left[\frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)\right] + K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot \left[J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)\right].$$

Тепер рівняння (5) набуває вигляду

$$\bar{\theta} = \frac{\left\{ \bar{T}_v(p) \left[\frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] + \bar{T}_{sz}(p) \cdot K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right\} \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \left\{ -\bar{T}_{sz}(p) \cdot J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \bar{T}_v(p) \cdot \left[J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] \right\} \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)}$$

Аналогічно вище наведеним випадкам визначаємо передатні функції $W_{Tv \rightarrow \theta}(p, r)$ (канал «температура внутрішньої поверхні – температура циліндру за радіусом») та $W_{Tsz \rightarrow \theta}(p, r)$ (канал «температура зовнішнього середовища – температура циліндру за радіусом»)

$$W_{Tv \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[\left(\frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot K_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right) \cdot J_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \left[J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\lambda}{\alpha_1} \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot J_1\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] \cdot K_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right]}{Z_n(p)}$$

$$W_{Tsz \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[-J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + K_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot J_0\left(r\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right]}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot Z_n(p)}$$

Варіант 4. $Ngv=2, Ngz=1$. У даному випадку граничні умови такі:

$$\begin{cases} -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = Q_v(t), \\ \theta \Big|_{r=r_0} = T_z(t) \end{cases}, \quad (10)$$

де $Q_v(t)$ – внутрішній тепловий потік.

Після перетворення (10) за Лапасом і підстановки у (5) маємо:

$$\begin{cases} -\frac{Q_v(t)}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} = C_1 \cdot J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - C_2 \cdot K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ T_z(t) = C_1 \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + C_2 \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{cases}$$

Визначаємо невідомі коефіцієнти

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} -\frac{\overline{Q_v(t)}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} & -K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ T_z(p) & K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & -K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \\ J_0\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \end{vmatrix}} = \frac{T_z(p) \cdot K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - \frac{\overline{Q_v(t)}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)} \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & -\frac{\overline{Q_v(t)}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \\ J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) & T_z(p) \end{vmatrix}}{Z_n(p)} = \frac{T_z(p) \cdot J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\overline{Q_v(t)}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)}, \quad (12)$$

де

$$Z_n(p) = J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right).$$

Тоді з урахуванням (11) та (12) отримаємо:

$$\bar{\theta} = \frac{\left[T_z(p) \cdot K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - \frac{\overline{Q_v(t)}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \left[T_z(p) \cdot J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + \frac{\overline{Q_v(t)}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right] \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)}.$$

З останнього рівняння дістаємо передатні функції $W_{T_v \rightarrow \theta}(p, r)$ (канал «тепловий потік на внутрішній поверхні – температура циліндра за радіусом») та $W_{T_z \rightarrow \theta}(p, r)$ (канал «температура зовнішньої поверхні циліндра – температура циліндра за радіусом»).

$$W_{T_v \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{K_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) + J_1\left(r_0\sqrt{\frac{p}{a}}\right) K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right)}{Z_n(p)},$$

$$W_{T_z \rightarrow \theta}(p, r) = \frac{\left[J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) - K_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \cdot J_0\left(r_1\sqrt{\frac{p}{a}}\right) \right]}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{p}{a}} \cdot Z_n(p)}.$$

Варіант 5. $Ngv=2, Ngz=2$. Маємо такі граничні умови

$$\begin{cases} -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = Q_v(t) \\ \theta \Big|_{r=r_0} = Q_z(t) \end{cases}.$$

При даній комбінації граничних умов усталений режим в об'єкті (пустотілому циліндрі) – неможливий, оскільки $Q_v(t)$ та $Q_z(t)$ - незалежні одне від одного, і температура при небалансі потоків температура зсередини і ззовні буде

або необмежено зростати, або необмежено спадати. Таким чином, при відсутності усталеного режиму не можна говорити про відхилення від нього. Отже, визначення передатних функцій у цьому випадку втрачає сенс.

Для розрахунку частотних характеристик на базі передатних функцій циліндричних стінок треба брати до уваги такі співвідношення:

$$\begin{cases} I_0(x\sqrt{j}) = berx + jbeix, \\ \sqrt{j}I_1(x\sqrt{j}) = ber'x + jbei'x, \\ K_0(x\sqrt{j}) = kerx + jkeix, \\ \sqrt{j}K_1(x\sqrt{j}) = -(ker'x + jkei'x). \end{cases}$$

Функції $ber(x)$, $bei(x)$ (Bessel real, Bessel imagine), $ker(x)$, $kei(x)$ (Kelvin real, Kelvin imagine) іще називають функціями Томсона (Кельвіна). Ці функції табульовані [8, 10, 12]. При $x < 1$ їх можна обчислювати за такими формулами:

$$ber(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{4n}}{2^{4n} [(2n)!]^2};$$

$$bei(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{4n+2}}{2^{2n+2} [(2n+1)!]^2};$$

$$ker(x) = \left(\ln \frac{2}{x} - C\right) ber(x) + \frac{\pi}{4} bei(x) + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{4n}}{2^{2n} [(2n)!]^2} \sum_{m=1}^{2n} \frac{1}{m};$$

$$kei(x) = \left(\ln \frac{2}{x} - C\right) bei(x) + \frac{\pi}{4} ber(x) + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{4n+2}}{2^{4n+2} [(2n+1)!]^2} \sum_{m=1}^{2n+1} \frac{1}{m};$$

$$ber'(x) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{4nx^{4n-1}}{2^{4n} [(2n)!]^2};$$

$$bei'(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(4n+2)x^{4n+1}}{2^{2n+2} [(2n+1)!]^2};$$

$$ker'(x) = -\frac{1}{x} ber(x) + \left(\ln \frac{2}{x} - C\right) ber'(x) - \frac{\pi}{4} bei'(x) + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{4nx^{4n-1}}{2^{4n} [(2n)!]^2} \sum_{m=1}^{2n} \frac{1}{m};$$

$$kei'(x) = -\frac{1}{x} bei(x) + \left(\ln \frac{2}{x} - C\right) bei'(x) - \frac{\pi}{4} ber'(x) + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(4n+2)x^{4n+1}}{2^{4n+2} [(2n+1)!]^2} \sum_{m=1}^{2n+1} \frac{1}{m};$$

При $x \geq 1$

$$ber(x) \cong \frac{e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}} \left[L_0(x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) - M_0(x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$bei(x) \cong \frac{e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}} \left[M_0(x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) - L_0(x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$ker(x) \cong \sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}} \left[L_0(-x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) + M_0(-x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$kei(x) \cong \sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}} \left[M_0(-x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) - L_0(-x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$ber'(x) \cong \frac{e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}} \left[S_0(x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) - T_0(x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$bei'(x) \cong \frac{e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}} \left[T_0(x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) + S_0(x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$ker'(x) \cong -\sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}} \left[S_0(-x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) + T_0(-x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right];$$

$$kei'(x) \cong -\sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}} \left[T_0(-x) \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) - S_0(-x) \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right].$$

Тут

$$L_0(x) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1^2 3^2 5^2 \dots (2n-1)^2}{n!(8x)^n} \cos\left(n \frac{\pi}{4}\right);$$

$$M_0(x) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1^2 3^2 5^2 \dots (2n-1)^2}{n!(8x)^n} \sin\left(n \frac{\pi}{4}\right);$$

$$S_0(x) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1^2 3^2 5^2 \dots (2n+1)^2}{(2n-1)(2n+1)n!(8x)^n} \cos\left(n \frac{\pi}{4}\right);$$

$$T_0(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1^2 3^2 5^2 \dots (2n+1)^2}{(2n-1)(2n+1)n!(8x)^n} \sin\left(n \frac{\pi}{4}\right).$$

Для реалізації цього алгоритму треба мати в розпорядженні підпрограми для обчислення функцій $ber(x)$, $bei(x)$, $ker(x)$, $kei(x)$, а в більш загальному випадку також і $ber'(x)$, $bei'(x)$, $ker'(x)$, $kei'(x)$.

При необхідності ці підпрограми користувач може створити самостійно за наведеними вище формулами. Можна також скористатися таблицями відповідних функцій, сформувавши на їх базі інтерполяційні структури (поліноми, кубічні сплайни або B-сплайни). Але найбільш доцільним виглядає чисельне інтегрування диференціальних рівнянь (1) з відповідними граничними умовами при одиничному ступінчастому вхідному сигналі при нульових початкових умовах. Таким чином можна було б сформувати масив ординат перехідної характеристики. Шляхом чисельного диференціювання даний масив можна було б перерахувати в масив ординат імпульсної характеристики, а вже цей останній в дійсно- й уявно-частотні характеристики. Такий алгоритм розглянуто у [12].

Висновки. У даній роботі отримані передатні функції та частотні характеристики об'єктів з розподіленими параметрами, які з точки зору їх математичного моделювання можуть розглядатися як циліндричні теплоакуючі стінки. Дані передатні функції є трансцендентними і їх безпосереднє використання для розв'язання задач аналізу та синтезу систем

керування не є тривіальним. Саме ця обставина обумовлює шляхи подальших досліджень. Їх може бути декілька.

Перший шлях пов'язаний з розробкою методів безпосереднього використання передатних функцій нетривіальної структури для аналізу та синтезу систем керування.

Другий шлях передбачає використання відомих методів аналізу та синтезу систем керування, але отримані у даній роботі передатні функції повинні бути представлені у вигляді дробово-раціональних функцій, що обумовлює потребу у розробці відповідних методів апроксимації та аналізу їх ефективності.

Список літератури: 1. *Рапопорт, Э. Я.* Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами [Текст] / Э. Я. Рапопорт. – М.: Высш. шк., 2005. – 292 с. 2. *Шевяков, А. А.* Управление тепловыми объектами с распределенными параметрами [Текст] / А. А. Шевяков, Р. В. Яковлева. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с. 3. *Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N.* Transport Phenomena, Revised Second Edition // New York, USA. – 2007. 4. *Бутковский, А. Г.* Методы управления систем с распределенными параметрами [Текст] / А. Г. Бутковский. – М.: Наука, 1975. – 568 с. 5. *Владимиров, В. С.* Уравнения математической физики [Текст] / В. С. Владимиров. – М.: Наука, 1976. – 435 с. 6. *Згуровский, М. З.* Прикладные методы анализа и управления нелинейными процессами и полями [Текст] / М. З. Згуровский, В. С. Мельник, А. Н. Новиков. – К.: Наукова думка, 2004. – 588 с. 7. *Бутковский, А. Г.* Характеристики систем с распределенными параметрами [Текст] / А. Г. Бутковский. – М.: Наука, 1979. – 224 с. 8. *Arfken, G.* Mathematical Methods for Physicists [Текст] / Arfken, G., Hans J. Weber. — 6th edition. — San Diego: Harcourt, 2005. 9. *Bayin, S. S.* Mathematical Methods in Science and Engineering [Текст] / Bayin S.S. - Wiley, 2006. 10. *Грищенко, А. З.* Комп'ютерне визначення коефіцієнтів передаточної функції дискретної моделі теплоакумуючої стінки [Текст] / А. З. Грищенко, Н. А. Кубрак // Автоматизація виробничих процесів. – 2001. – № 1 (12). – С. 28–35. 11. *Кубрак, А. І.* Передатні функції та частотні характеристики циліндричної теплоакумуючої стінки [Текст] / А. І. Кубрак, А. І. Жученко // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: серія «хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2013. – № 1 (11). – С. 81–88. 12. *Ken Habgood, Itamar Arel* "A condensation-based application of Cramer's rule for solving large systems". Journal of Discrete Algorithms 10: 98, 2012. – 109 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Rapoport, E. Y.* (2005). Analysis and Synthesis of Automatic Control Systems with Distributed Parameters. Moscow, Vishaja shkola, 292. 2. *Sheviakov, A. A., Yakovleva, R. V.* (1986). Control of Heat Plants with Distributed Parameters. Moscow, Enerhoatomyzdat, 208. 3. *Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N.* (2007). Transport Phenomena, Revised Second Edition. New York, USA. 4. *Butkovskiy, A. H.* (1975). Methods of Control Systems with Distributed Parameters. Moscow, Nauka. 568. 5. *Vladymyrov, V. S.* (1976). Equations of Mathematical Phisics. Moscow, Nauka, 435. 6. *Zghurovskiy, M. Z., Melnyk, V. S., Novykov, A. N.* (2004). Applied Methods of Analys and Control by Nonlinear Processes and Fields. Kyiv, Naukova dumka, 588. 7. *Butkovskiy, A. H.* (1979). Responses of Systems with Distributed Parameters. Moscow, Nauka, 224. 8. *Arfken, George B., Hans J. Weber* (2005). Mathematical Methods for Physicists. 6th edition. San Diego: Harcourt. 9. *Bayin, S.S.* (2006) Mathematical Methods in Science and Engineering, Wiley. 10. *Hryshchenko, A. Z., Kubrak, N. A.* (2001). Computer Determination of Transfer Function Coefficients of Discrete Model of Heat Storage Wall. Kyiv, №1(12), 28–35. 11. *Kubrak, A. I. Zhuchenko, A. I.* (2013). Transfer Functions and Frequency Responses of Cylindrical Heat Storage Wall. Kyiv, NTUU “KPI”, № 1 (11), 81–88. 12. *Ken Habgood, Itamar Arel* (2012). "A condensation-based application of Cramer's rule for solving large systems". Journal of Discrete Algorithms 10: 98–109.

Надійшла (received) 25.05.2014

А. О. МУРАДЬЯН, ассистент, ОНМУ, Одесса;

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ В ОБЩЕТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ

В статье исследуется один из перспективных подходов к разработке механизма взаимодействия смежных предприятий общетранспортных узлов при управлении перевалкой грузов, трактуемой в качестве непрерывного разветвленного процесса с переменной структурой. Приводится оригинальная экономико-математическая модель оптимизации этого процесса с указанием условий ее эффективной реализации. Показано, что для постановки адекватной этому процессу задачи управления, необходимо использовать методологию организации согласования решений, отвечающую потребностям управления производственно – экономическими системами.

Ключевые слова: транспортный узел, перевалка грузов, постановка задачи управления грузоперевалкой, оптимизация процесса грузоперевалки, условия реализации модели задачи

Введение. Одним из основных элементов транспортных систем любого ранга являются пункты передачи грузов с одного вида транспорта на другой – морские и речные порты, автономные грузовые терминалы на морских побережьях, железнодорожные грузовые станции и грузовые дворы автотранспортных предприятий. В силу общности функционального назначения и структурной идентичности производственного процесса перечисленных предприятий их предложено в [1] определять в качестве грузоперевалочных систем соответствующих видов транспорта. Представляется логичным распространить это собирательное наименование и на различные сочетания перечисленных предприятий в составе комплексных систем, именуемых в настоящей статье общетранспортными узлами (ОТУ), а в прежние времена носивших названия: перевалочных пунктов и узлов; транспортных узлов на базе железнодорожных станций, морских и речных портов; мультимодальных транспортных узлов.

В литературе по комплексной эксплуатации транспорта роль ОТУ в осуществлении процессов перевозки и перевалки грузов оценивается по – разному. В одном случае утверждается, что транспортные узлы могут основательно способствовать обеспечению ритмичной работы перевозочных средств, а в другом случае высказывается прямо противоположная точка зрения. Как нам думается, истина и в данном случае находится между отмеченными крайностями. А это означает, что с ОТУ следует связывать «самую последнюю» возможность если не для ликвидации, то хотя бы для частичного устранения «движенческих» диспропорций в работе смежных видов транспорта. Именно такая ориентация принимается в качестве ключевой исходной предпосылки постановки вынесенной в название данной статьи задачи.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Представляется уместным подчеркнуть, что исследуемая нами задача является сердцевиной теории обеспечения эффективного взаимодействия смежных видов транспорта,

зарождение которой относится к середине XIX века. Эта теория получила основательную проработку в 1930 – 1950-е годы благодаря исследованиям, отраженным в [2, 3], которые открыли путь к решению на уровне ОТУ таких задач, как: совмещение времени прибытия в узлы подвижного состава взаимодействующих видов транспорта; сокращение сроков пребывания в узлах грузов и транспортных средств; внедрение единого технологического процесса работы портов и припортовых железнодорожных станций. В итоге к 1970 - м годам было предложено рассматривать ОТУ в качестве межотраслевых систем с территориальным совмещением транспортного производства на основе слияния в едином процессе технологических процессов взаимодействующих предприятий и использования для его реализации оперативно объединяемых технических и трудовых ресурсов этих предприятий, что вполне отвечало философии централизованно управляемой экономики [4].

Далее последовал логичный вывод о необходимости разработки теории и методов управления ОТУ как относительно автономными транспортными системами. Поначалу (в 1950-1960гг.) в этом направлении преобладали постановочные и зачастую декларативные выступления по поводу целесообразности осуществления управления ОТУ из единого общеузлового центра с более высоким организационно – правовым статусом по отношению к образующим ОТУ предприятиям. Однако эта идея признания не получила в силу отраслевой разобщенности видов транспорта. В противовес ей утвердилась другая точка зрения, предусматривающая реализацию управления ОТУ на принципах коллегиальности и сотрудничества.

Эта концепция была положена в основу разработки проекта комплекса задач «Непрерывный план – график работы транспортного узла» (НПГРТУ), внедренного в ряде ОТУ на базе морских портов в 1970-е годы в качестве ядра первой очереди автоматизированной системы управления ОТУ [4]. Однако этот замысел не осуществился в связи с прекращением в СССР в начале 1980-х годов работ по автоматизации управления в народном хозяйстве.

В последующее тридцатилетие, насколько можно судить по публикациям в транспортной литературе, «прорывных» достижений в исследовании комплексных транспортных проблем, в том числе связанных с обеспечением управления взаимодействием смежных предприятий в ОТУ, не наблюдалось ни в нашей стране, ни за рубежом. Признаки активизации в этой области транспортной науки появились в начале текущего столетия, когда ученые, главным образом железнодорожного транспорта, начали прорабатывать проблемы взаимодействия смежных видов транспорта на примере процесса перевалки грузов (ППГ) через призму логистической концепции доставки грузов «от двери до двери». При этом наиболее значимые результаты были получены в [5–7] при условии, что ОТУ состоит из двух предприятий – порта (морского или речного) и припортовой железнодорожной станции, а ППГ рассматривается лишь для одного этапа, который выполняется в порту при загрузке судов из вагонов, т.е. только по прямому варианту.

Первая из указанных работ содержит формальное описание ОТУ (точнее его портового звена) с использованием в качестве методологического инструмента

теории взаимодействующих последовательных процессов [8], а средств формализации – алфавитов, алгебраических формул, протоколов и темпоральных схем. При этом в качестве локальных объектов управления ОТУ выделены суда, вагоны, причалы, портовые склады, кордонные и железнодорожные грузовые фронты, судовые партии (отправки) грузов и предложено каждый объект представлять в виде двудольного графа (диграфа) с целью моделирования поведения отдельных объектов, а по их совокупности и ОТУ в целом.

Охарактеризованный подход к формализации процесса работы ОТУ представляется привлекательным в теоретическом отношении, ибо позволяет довольно изящно отобразить процесс загрузки судов. Вместе с тем его практическую ценность нельзя признать высокой вследствие чрезмерно громоздкой процедуры реализации. Однако более существенная особенность этого подхода состоит в размытости его критериальной основы и практически полном отсутствии связи с рыночной философией делового поведения субъектов ОТУ в отношениях как между собой, так и с клиентурой.

В аналогичной постановке (для комплекса порт – станция и процесса загрузки судов в порту) выполнена работа [6], в которой дан аналитический обзор методического арсенала теории оптимального управления с точки зрения возможности и целесообразности применения существующих методов для моделирования работы ОТУ. По результатам проведенного анализа сделан вывод о том, что наиболее перспективными для этой цели являются методы когнитивного и морфологического анализа. Это утверждение иллюстрируется в анализируемом труде академическим примером морфологического моделирования процесса загрузки судов в порту, однако без какого-либо указания на способ реализации полученной таким образом модели. Вследствие этого вопрос о действительной ценности предложенного в [6] подхода остается открытым как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Рубежной в определенном смысле является работа [7], в которой предпринята попытка соединить рациональные идеи традиционного и нового подходов к организации управления ОТУ. Первое из указанных направлений – традиционное – представлено в этом труде практически в той же постановке, что и в [6], т.е. с ориентацией на выбор в качестве подходящего методологического средства для построения механизма управления ОТУ морфологического моделирования в сочетании с когнитивным анализом и сценарным подходом к планированию деятельности узла. Второе направление – рыночное – отражено в [7] в форме обоснования одного из принципиально возможных вариантов постановки и начального анализа проблемы согласования интересов субъектов ОТУ в ходе организации и осуществления ППГ. Эта часть содержащейся в данном исследовании проработки выполнена в понятиях теории оценки влияния обратной связи в механизме управления на функционирование управляемого объекта в сочетании с методами когнитивного и морфологического моделирования и рекомендацией о последующем переходе к реализации методики векторной оптимизации производственного процесса ОТУ. К сожалению, все эти идеи рассмотрены, как принято говорить, лишь в порядке постановки вопроса.

Намеченные в [7] рыночные акценты в обосновании механизма управления ОТУ получили развитие в исследованиях последнего пятилетия при разработке методологических основ формирования морского транспортного узла (МТУ), интерпретируемого в качестве института сетевых партнерских отношений [9]. Ключевая идея данной работы состоит в обосновании возможности использования концепции маркетинга партнерских отношений [10] под названием маркетинга взаимодействия в качестве методологической базы для разработки механизма управления МТУ. Такая инициатива аргументируется в [9] назревшей необходимостью перехода субъектов МТУ к парадигме создания совместной ценности на основе установления и поддержания долговременных деловых связей между всеми участниками доставки грузов по схеме «от двери - до двери».

На сколько можно судить по характеру содержания труда [10] данное исследование еще не доведено до финишной черты и его главные результаты нужно ожидать в недалеком будущем.

При совместном рассмотрении изложенных [5–7, 10] концепций управления ОТУ становится очевидным, что проблема моделирования и оптимизации ППГ в общей постановке (в рамках всего ОТУ) к настоящему времени изучена недостаточно и нуждается в дальнейшем исследовании с целью разработки эффективных методов ее решения.

Цель и задачи исследования. Из вышеизложенного можно заключить, что в обрисованной ситуации дальнейшее продвижение в изучении механизма управления взаимодействием смежных предприятий ОТУ следует связывать с двуединой целью: с одной стороны, прибегать к корректной адаптации ранее полученных результатов к условиям работы транспорта в рыночной среде и, с другой стороны, искать принципиально новые решения для уровня ОТУ в рамках задачи оптимального управления процессом перевалки грузов (ППГ), начиная с обоснования предпосылок постановки этой задачи в соответствии с методологией системного подхода к исследованию процессов управления.

Основные результаты исследования и их истолкование. Определение системы «Общеперевалочный узел». Из анализа производственной сути ППГ следует, что этот процесс можно рассматривать в качестве разновидности непрерывных разветвленных процессов с переменной структурой [9, 11, 12], что иллюстрируется приведенной ниже схемой, которая соответствует разновидности ОТУ, образуемых совокупностями предприятий четырех видов транспорта – морского, железнодорожного, речного и автомобильного (рис. 1).

Как видно из приведенной схемы взаимодействие смежных видов транспорта осуществляется наиболее активно в системах: морские суда – морской порт – припортовая железнодорожная станция – подвижной состав железных дорог (и обратно); морские суда – морской порт – магистральный автотранспорт (и обратно); морские суда – морской порт – речные суда (и обратно). Будем также учитывать, что во взаимодействие на информационном уровне в ОТУ вовлекаются наряду с транспортными предприятиями также отправители (продавцы) и получатели (покупатели) грузов, компании – владельцы транспортных средств, экспедиторские, агентские

и брокерские компании, а также фискальные и другие организации.

Из анализируемой схемы видно также, что при реализации ППГ происходит непрерывное преобразование (перемещение в пространстве) грузопотоков – входящих в ОТУ в выходящие из него – посредством воздействия на них производственных ресурсов предприятий узла. Комплекс этих ресурсов образуют: на припортовой железнодорожной станции – магистральный

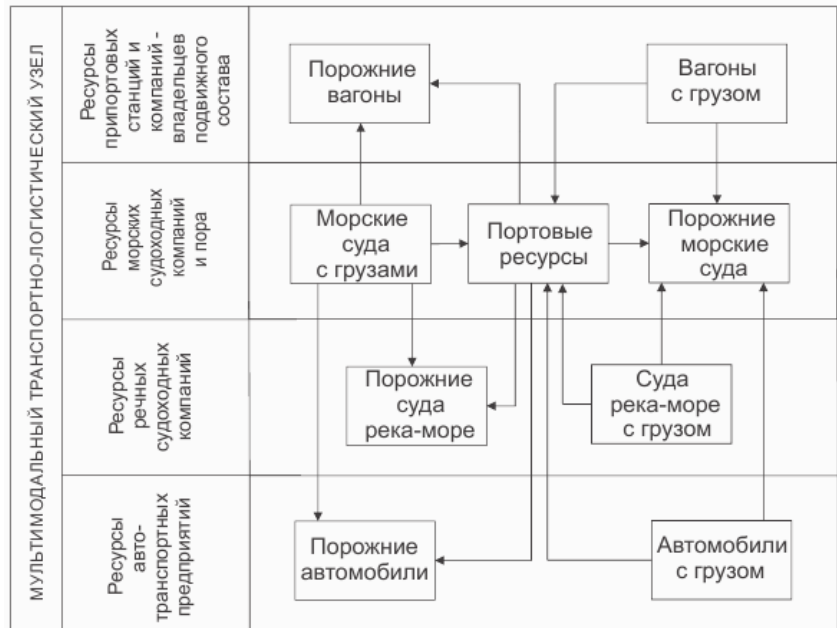


Рис. 1 – Структурная схема процесса перевалки грузов в ОТУ

подвижной состав, пути и маневровые тепловозы; в порту – причальный фронт, грузовые фронты, складские емкости и площади, служебно – вспомогательный флот; на подходе к порту и в порту - морские и речные суда, железнодорожные вагоны и магистральные автомобили. При этом результаты воздействия ресурсов на грузопотоки проявляются в форме перемещения их определенных количеств из некоторых начальных состояний в некоторые промежуточные и конечные состояния.

Математическое моделирование процесса перевалки груза. Из анализа структурной схемы ОТУ в части отражения в ней множества возможных вариантов реализации ППГ можно также заключить, что этот процесс допустимо представить в виде сетевой транспортной системы, т.е. поставить ему в соответствие некоторый ориентированный граф $G=(I, J)$, в качестве вершин которого $\{I\}$, будут выступать позиции грузопотоков (по их местоположению), а ребер $\{J\}$ – организационно – технологические варианты (ОТВ) перемещения грузов в пределах ОТУ. При этом исходные позиции грузопотоков будут фиксироваться очевидным образом: в морских и речных судах – у приемного бую, на рейде, у причалов под выгрузкой и в ожидании начала выгрузки, на перешвартовках; в железнодорожных вагонах - на припортовой станции (на путях – главном, приеме - отправочных, отстойных), на соединительных между портом и станцией путях; в порту – на выставочных путях, на грузовых фронтах под выгрузкой и в ожидании выгрузки; в автомобилях – на транзитно-грузовых терминалах под таможенными формальностями, на грузовых фронтах под выгрузкой и в ожидании выгрузки; в портовых складах - на технологическом хранении, под логистическим обслуживанием. Аналогично фиксируются и конечные позиции грузов – по порожним судам, вагонам, автомобилям и секциям

портовых складов, а также промежуточные позиции – между зонами поступления грузов в ОТУ и убытия их из узла.

Как отмечается в [13] и других источниках, конструируемый подобным образом ориентированный граф является весьма удобной моделью, пригодной для отображения непрерывных производственных процессов, к числу которых относится и ППГ. Этот граф образуется из совокупности элементов множества I с множеством J некоторых упорядоченных пар i, j , взятых из J , где под упорядоченностью понимается ребро, соединяющее элементы i и j . В результате структура взаимодействия элементов графа будет определяться для каждого элемента i множества входов $A(i)$ и множества выходов $B(i)$. При этом в качестве $A(i)$ будет выступать множество элементов, из которых исходят ребра, а в качестве $B(i)$ – множество элементов, в которые приходят ребра, исходящие из элементов i , т.е.

$$\begin{aligned} A(i) &= \{j \in I; (j, i) \in J\}; \\ B(i) &= \{j \in I; (i, j) \in J\}. \end{aligned} \quad (1)$$

В приложении к ОТУ можно считать, что ППГ в общем случае распадается на некоторую совокупность «элементарных» составляющих, т.е. грузовых потоков, каждый из которых очевидным образом связывается с ребром графа, ведущим из элемента i в элемент j и в количественном отношении характеризуется величиной потока грузов по ветви Q_{ij} в единицу времени. Будем называть эту величину интенсивностью грузопотоков и учитывать, что она должна удовлетворять в любой момент времени t условию

$$Q_{ij}(t) \leq P_{ij}(t), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $P_{ij}(t)$ – пропускная способность ветви $i - j$ в момент времени t .

Поставим в соответствие каждому элементу $i \in I$ некоторое неотрицательное число $P_i(t) \geq 0$ и назовем его пропускной способностью элемента i в момент времени t . Очевидно, что эта величина будет лимитировать суммарный поток грузов, выходящий из элемента i в любой момент времени, т.е.

$$\sum_{j \in B(i)} Q_{ij} \leq P_i(t), \quad i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Все множество вершин I обсуждаемого графа разделим на четыре непересекающихся множества в привязке к основным стадиям ППГ: I_1 – множество, образуемое «источниками» поступления грузов в МТЛУ на морских и речных судах, в железнодорожных вагонах и автомобилях; I_2 – множество, образуемое «потребителями» грузов в МТЛУ, которым соответствуют портовые склады, а также порожний подвижной состав взаимодействующих видов транспорта; I_3 – множество, соответствующее техническим средствам, обеспечивающим перемещение грузов в границах МТЛУ; I_4 – множество, соответствующее оперативным зонам в порту и на припортовой станции, предназначенным для краткосрочного хранения грузов.

Для обеспечения выработки воздействий на ход (режим) реализации ППГ по всем его стадиям и подпроцессам необходимо потоки, выходящие из элементов $i \in I$, связать с потоками на входе и управляющими воздействиями следующими соотношениями:

$$Q_{ij}(t) = f_{ij}[U_i(t), Q_{ki}(t); \forall k \in A_i]; \forall j \in B(i), \quad (4)$$

где $U_i(t) = \{U_{i1}, \dots, U_{in}\}$ - вектор управляющих воздействий на ППГ; k – текущее значение признака ребра графа, через которое проходит груз.

Отметим, что управляющими воздействиями $U_i(t)$ регламентируется направление движения грузопотоков через ОТУ и определяется рациональная тактика использования производственных ресурсов взаимодействующих в узле предприятий (подвижного состава, перегрузочных средств и складов порта, технических средств припортовой станции) для осуществления ППГ.

Область допустимых значений управляющих воздействий и потоков грузов на входе и выходе элементов $i \in I_3$ задается ограничениями

$$\left\{ U_i; Q_{ki}; \forall k \in A(i); Q_{ij}, \forall j \in B(i) \right\} \in V_i, \quad (5)$$

где V_i – некоторые замкнутые области.

При этом для любого элемента $i \in I_3$ должно соблюдаться соотношение

$$\sum_{k \in A(i)} Q_{ki}(t) - \sum_{j \in B(i)} Q_{ij}(t) \leq 0. \quad (6)$$

Очевидно, что в каждом элементе i (судне, вагоне, автомобиле, складе) в любой момент времени t может находиться определенное количество следующих через ОТУ грузов. Назовем эту величину «текущей загрузкой» элемента и будем определять ее из выражения.

$$X_i(t) = \int_0^t \left[\sum_{k \in A(i)} Q_{ki}(\tau) - \sum_{j \in B(i)} Q_{ij}(\tau) \right] d\tau + X_i(0), \quad (7)$$

где $X_i(t)$ – «текущая загрузка» элемента i в начале рассматриваемого периода времени.

Изменение «текущей загрузки» элемента i в любой момент времени определяется величиной

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \sum_{k \in A(i)} Q_{ki}(t) - \sum_{j \in B(i)} Q_{ij}. \quad (8)$$

При этом на объем «текущей загрузки» каждого элемента i необходимо накладывать ограничение вида

$$0 \leq X_i(t) \leq W_i, \quad (9)$$

где W_i – некоторые неотрицательные величины, лимитирующие допустимые объемы накопления грузов в элементах i .

Применительно к структуре ориентированного графа, адекватного ППГ, соотношение (8) для элементов i из множеств I_1, I_2, I_4 может быть записано следующим образом:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \begin{cases} -\sum_{i \in I_4} Q_{ij}(t) - \sum Q_{ik}(t), & \text{если } i \in I_1; \\ \sum_{i \in I_4} Q_{ji}(t) + \sum_{k \in I_3} Q_{ki}(t), & \text{если } i \in I_2; \\ \sum_{i \in I_4} Q_{ji}(t) - \sum_{i \in I_2} Q_{ij}(t) - \sum_{i \in A(i) \cap I_3} Q_{ij}, & \text{если } i \in I_4. \end{cases} \quad (10)$$

Система соотношений (10) характеризует условие баланса, который необходимо соблюдать в МТЛУ при реализации ППГ.

Совокупность соотношений (2) - (7), (9) - (10) вместе с системой начальных условий

$$X_i(t) = Q_i(0), \quad i \in I | I_3 \quad (11)$$

описывает состояние графа и соответствующий ему набор ОТВ реализации ППГ в любой момент времени, т.е. является математической моделью ППГ.

Цель решения адекватной соотношениям (2) - (7), (9) - (11) задачи состоит в выборе такого сочетания управляющих параметров взаимодействующих в ОТУ предприятий, которым фиксируется множество ОТВ перевалки грузов, при использовании которого достигается максимально возможная эффективность грузоперевалочного процесса при соблюдении накладываемых на него ограничений. В рыночных условиях эффективность реализации ППГ следует оценивать по критерию оптимальности, которому соответствует показатель прибыли, получаемой в результате осуществления перевалки грузов взаимодействующими в ОТУ смежными предприятиями на некотором интервале управления T .

В математической постановке такая задача заключается в следующем: систему, описываемую соотношениями (2) - (7), (9) - (11), перевести за время T из некоторого состояния $X_i(0) = Q_i^0$ в начальный момент времени в заданное конечное состояние.

$$X_i(T) = Q_i^T, \quad i \in I | I_3 \quad (12)$$

таким образом, чтобы при этом обеспечивался максимум функционала F :

$$F = \int_0^T \left[\sum_{i \in I_2} \sum_j a_{ij} Q_{ij} + \sum_{i \in I_1} \sum_j \bar{a}_{ij} Q_{ij} - R(t) \right] dt, \quad (13)$$

где a_{ij} – гарантированный доход (тариф) за перевалку 1 т груза; \bar{a}_{ij} – прогнозная оценка непланируемого дохода за перевалку 1 т груза; $R(t)$ – функция, характеризующая расходы по перевалке грузов в текущий момент времени t .

Охарактеризованная модель оптимизации управления ППГ в полной мере отвечает идее системного представления исследуемых процессов и в этом смысле может рассматриваться в качестве теоретически приемлемого результата, обладающего научной новизной в приложении к ОТУ. Однако в практическом отношении эту модель нельзя оценить однозначно. С одной стороны, гарантируя максимум прибыли от реализации ППГ по ОТУ в целом, (если с такой постановкой вопроса согласны все участники осуществления грузоперевалки) она обеспечивает исчерпывающее решение обсуждаемой задачи. С другой стороны, при заинтересованности предприятий ОТУ в достижении только собственной выгоды модель не может давать законченного решения задачи вследствие того, что обеспечиваемый функционалом (13) максимум прибыли от реализации ППГ необходимо далее распределить между взаимодействующими в ОТУ предприятиями в соответствии с неким правилом, основанным на компромиссном соблюдении деловых интересов всех участников осуществления грузоперевалочного процесса.

Выводы. Обобщение всего вышеизложенного позволяет сделать следующие конкретные заключения.

Во-первых, задача управления взаимодействием смежных предприятий ОТУ является весьма актуальной прежде всего в практическом отношении. Об этом убедительно свидетельствуют приведенные в [14] факты о крайне негативных последствиях несогласованной работы смежных видов транспорта на этапах перевозки и перевалки грузов, вследствие чего предприятия транспорта, производственной сферы и сервисного комплекса несут суммарно многомиллиардные потери в форме прямых убытков и упущенной выгоды. Отсюда с очевидностью вытекает вывод о необходимости обеспечения максимально возможной синхронизации в работе транспортных предприятий всех видов, в том числе функционирующих в ОТУ, что является одним из обязательных условий сокращения упомянутых выше транспортных, а в конечном счете народнохозяйственных потерь.

Во-вторых, обсуждаемая в данной статье задача отличается большой актуальностью и в теоретическом отношении, ибо она по сути своей может быть отнесена к классу задач управления непрерывными разветвленными производственными процессами с переменной технологической структурой, на что до сих пор исследователи комплексных транспортных проблем не обращали внимания. Между тем, по нашему мнению, именно с таких позиций следует подходить к анализу этой задачи уже на стадии ее постановки.

В-третьих, ключевое условие постановки обсуждаемой задачи состоит в корректном выборе механизма согласования управляющих решений, вырабатываемых смежными предприятиями ОТУ при организации и осуществлении ППГ. Очевидно, что попытка решить эту проблему в рамках единой («глобальной») модели может привести к успеху лишь в частном случае, когда априори известно, что все смежные предприятия ОТУ одинаково заинтересованы в интегральном по узлу результате, достигаемом при использовании единого (скалярного) критерия оптимальности. Однако в ситуации, когда доминантой становится рыночный прагматизм и эгоизм, такой подход оказывается недостаточным, в силу чего объективно возникает необходимость в поиске альтернативных концепций постановки задачи, что логично определить в качестве предмета следующего этапа ее исследования.

Список литературы: 1. Магамадов, А. Р. К проблеме толкования и количественного определения производственной мощности грузоперевалочных систем [Текст] : зб. наук. пр. / А. Р. Магамадов, И. В. Савельева // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. – 2011. – № 36. – С. 5–16. **2.** Образцов, В. Н. К вопросу о комплексной теории транспорта [Текст] / В. Н. Образцов // Известия АН СССР. Отделение технических наук. – 1945. – № 9-12. – С. 1035–1062. **3.** Звонков, В. В. Теоретические основы эксплуатации транспорта (во взаимодействии основных его видов) [Текст]: в 10-ти частях / В.В. Звонков. – М.:, 1949. **4.** Терехов, О. А. Совершенствование организации управления морскими портами [Текст] / О. А. Терехов, В. Н. Тюрин. – М.: Транспорт, 1981. – 152 с. **5.** Куренков, П. В. Управление доставкой в внешнеторговых грузов в смешанном сообщении [Текст]: дис. ... д-ра экон. наук / П. В. Куренков. – М.: ГУУ, 1999. – 478 с. **6.** Клепиков, В. П. Методология комплексного развития транспортных систем в проектах взаимодействия железнодорожного и морского транспорта [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Клепиков. – М.: МГУПС (МИИТ), 2007. – 352 с. **7.** Сычев, А. А. Организация работы транспортного узла в составе транспортного коридора [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. А. Сычев. – Ростов–на–Дону: РГУПС, 2009. – 167 с. **8.** Хоар, Н. Взаимодействующие последовательные процессы [Текст] / Н. Хоар; пер. с англ. –

М.: Мир, 1989. – 264 с. **9.** Ботнарюк, М. В. Методология формирования транспортного узла как института сетевых партнерских отношений [Текст] / М. В. Ботнарюк // Современная конкуренция. – 2012. – № 3 (38). – С. 98–110. **10.** Гордон, Ян Х. Маркетинг партнерских отношений. Сер.: Маркетинг для профессионалов [Текст] / Ян Х. Гордон; пер. с англ. – СПб.: Питер, 2001. – 379 с. **11.** Емельянов, С. В. Теория систем с переменной структурой [Текст] / С. В. Емельянов и др. – М.: Наука, 1970. – 520 с. **12.** Плискин, Л. Г. Оптимизация непрерывного производства [Текст] / Л. Г. Плискин. – М.: Энергия. 1975. – 336 с. **13.** Петров, Б. Н. Принципы построения автоматизированных систем управления промышленными предприятиями с непрерывным характером производства [Текст] / Б. Н. Петров. – М.: Энергия, 1975. – 440 с. **14.** Миروتин, Л. Б. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах [Текст] / Л. Б. Миروتин. – М.: Юристъ, 2002. – 414 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Magamadov, A. R., Savel'eva, I. V. (2011). K probleme tolkovaniya i kolichestvennogo opredeleniya proizvodstvennoj moshhnosti gruzoperevalochnyh sistem. Rozvitok metodiv upravlinnja ta gospodarjuvannja na transporti, 36, 5–16. **2.** Obrazcov, V. N. (1945). K voprosu o kompleksnoj teorii transporta. Izvestija AN SSSR. Otdelenie tehniceskikh nauk, 9-12, 1035–1062. **3.** Zvonkov, V. V. (1949). Teoreticheskie osnovy jekspluatatsii transporta (vo vzaimodejstvii osnovnyh ego vidov). **4.** Terehov, O. A., Tjurin, V. N. (1981). Sovershenstvovanie organizacii upravlenija morskimi portami. Transport, 152. **5.** Kurenkov, P. V. (1999). Upravlenie dostavkoj v vneshnetorgovyh gruzov v smeshannom soobshhenii. GUU, 478. **6.** Klepikov, V. P. (2007). Metodologija kompleksnogo razvitija transportnyh sistem v proektah vzaimodejstvija zheleznodorozhnogo i morskogo transporta. MGUPS (MIIT), 352. **7.** Sychev, A. A. (2009). Organizacija raboty transportanogo uzla v sostave transportnogo koridora. Rostov-na-Donu: RGUPS, 167. **8.** Hoar, N. (1989). Vzaimodejstvujushhie posledovatel'nye processy. Mir, 264. **9.** Botnarjuk, M. V. (2012). Metodologija formirovaniya transportnogo uzla kak instituta setevyh partnerskih otnoshenij. Sovremennaja konkurencija, 3 (38), 98–110. **10.** Gordon, Jan H. (2001). Marketing partnerskih otnoshenij. Ser.: Marketing dlja professionalov. SPb.: Piter, 379. **11.** Emel'janov, S. V. (1970). Teorija sistem s peremenoj strukturoj. Nauka, 520. **12.** Pliskin, L. G. (1975). Optimizacija nepreryvnogo proizvodstva. Jenergija, 336. **13.** Petrov, B. N. (1975). Principy postroenija avtomatizirovannyh sistem upravlenija promyshlennymi predpriyatijami s nepreryvnym harakterom proizvodstva. Jenergija, 440. **14.** Mirotin, L. B. (2002). Logistika: upravlenie v gruzovyh transportno-logisticheskikh sistemah. Jurist', 414.

Поступила (received) 18.05.2014

УДК 004.056: 004.434

Ю. І. ГОРБЕНКО, канд. техн. наук, с.н.с., ХНУРЕ, Харків;
В. А. БОБУХ, канд. техн. наук, с.н.с., ХНУРЕ, Харків;
В. А. ПОНОМАР, студент, ХНУРЕ, Харків

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ, РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СКРИПТОВОЇ МОВИ БЕЗПЕЧНОГО УПРАВЛІННЯ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Стаття присвячена питанням аналізу стану застосування та властивостей скриптових мов для безпечного управління в інформаційно-телекомунікаційних системах. Розглядаються існуючі скриптові мови та робиться аналіз можливостей та умов їх застосування для безпечного управління. Висуваються вимоги до створення нової скриптової мови та розглядається один із методів її реалізації.

Ключові слова: скриптова мова, безпечне управління, інформаційно-телекомунікаційна система, зворотній польський запис.

© Ю. І. ГОРБЕНКО, В. А. БОБУХ, В. А. ПОНОМАР, 2014

Вступ. В ряді інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) для написання розширень програмних алгоритмів зазвичай застосовується скриптова мова. В основному скриптова мова використовується переважно в таких випадках:

1) Якщо потрібно забезпечити можливість створення нових програм (алгоритмів, протоколів) без ризику дестабілізувати систему. Оскільки, на відміну від звичайних програм, скрипти інтерпретуються, а не компілюються, то неправильно написаний скрипт виведе діагностичне повідомлення, і не переведе систему в помилковий стан.

2) Якщо важливими є вимоги прозорості та зрозумілості коду. Так відомо, що чим складніша система, тим більше коду доводиться писати для того, щоб врахувати усі можливі ситуації, звести параметри до необхідного виду тощо. Крім того, скриптова мова, як правило, має власний проблемно-орієнтований набір команд, і один рядок скрипта може робити те саме що і кілька десятків рядків на традиційній мові. Також на скриптовій мові може писати програміст не високої кваліфікації, але який знає, що необхідно зробити, і йому неважливо розуміння самого механізму роботи.

Відносно швидкодії скриптової мови можна розділити на мови динамічного розбору (sh, command.com) і передкомпільовані (Perl). Мови динамічного розбору прочитують інструкції з файлу програми мінімально потрібними блоками, і виконують ці блоки, не читаючи подальший код. Передкомпільовані мови спочатку прочитують всю програму, компілюють її всю або в машинний код, або байт-код, або в якийсь внутрішній формат, і лише потім виконують отриманий код.

Необхідно відмітити, що скриптові мови, в залежності від призначення, використовуються в багатьох сферах інформаційної діяльності, в тому числі:

1) Мови обробки тексту, основним їх призначення є обробка за написаним шаблоном текстових файлів, що подаються на вхід.

2) Коли потрібна командна обгортка системи. Тоді вона виконує функцію перехідного шару між користувачем та самою програмою. Також, зазвичай, вона використовується для управління різними системами, в тому числі операційними системами інформаційно-телекомунікаційної системи.

3) В якості мови Web-розробки для забезпечення функціонального та зовнішнього оформлення Web-серверів та Web-сайтів.

4) Коли потрібна універсальність. Так мови, що створювалися для якихось конкретних цілей, але з часом розширювалися і застосовувалися для все більш і більш широкого кола завдань, необхідна універсальність. Зараз їх вже називають навіть не скриптовими, а динамічними мовами програмування.

5) В якості мов, що вбудовані в прикладні програми. За даних умов в прикладній програмі скрипт – це програма, що автоматизує деяку задачу, яку без скрипта користувач робив би вручну, використовуючи відповідний інтерфейс програми.

Аналіз літературних джерел. За останні роки дослідження скриптових мов йде за наступними напрямками:

1) Подальше вдосконалення існуючої мови. В даному випадку після випуску нової версії розробники випускають на неї документацію з описом змін.

2) Розширення функціоналу мови. Оскільки функціонал може бути розширений, як розробниками так і користувачами мови, то за даним напрямком проводиться значно більше досліджень. Крім того ці дослідження можуть стосуватися безпеки використання мови та створення розширення з метою створення безпечних функцій управління, правил, чи криптографічної бібліотеки для обраної мови програмування [1].

3) Третій напрям – це порівняння різних мов [2]. Це особливо проявляється в закордонних Internet-публікаціях та виданнях присвячених скриптовим мовам [3].

Вимоги до скриптової мови зі сторони захисту інформації. Основна вимога зі сторони захисту інформації полягає в тому, щоб нові програми, що створюються не могли нашкодити ІТС. Ця вимога задовольняється безпосередньо самим принципом виконання програм, написаних на скриптовій мові.

Також існують й інші вимоги, серед яких необхідно відзначити такі:

Коли користувач скриптової мови не повинен мати безпосередній доступ до скритих системних даних. Ця вимога стосується критичної інформації системи. Якщо є необхідність використання в програмі скритих системних даних, то вказується індекс чи ім'я необхідної інформації, а під час виконання цієї програми система вирішує надавати їй чи ні даний вид доступу. Також це стосується звичайних системних параметрів, що використовуються для функціонування команд скриптової мови.

У випадку, якщо скриптова мова повинна не давати можливості написання небезпечних команд управління. За виконання цієї вимоги зловмисник не зможе створювати та завантажувати до системи програм порушення послуг безпеки інформації.

1) Якщо завантажувати написані команди має право тільки автентифікований оператор, для якого в політиці безпеки надається така можливість.

2) За вимог, коли команди користувача не повинні замінити команди розробника.

Аналіз показав, що для безпечного управління в ІТС можна використовувати існуючі скриптові мови універсального призначення[3]. Більшість з них має вбудовані чи додаткові бібліотеки з криптографічним функціоналом.

Серед них необхідно відмітити Tcl мову[4](від англ. Tool Command Language - «командна мова інструментів»), що є скриптовою мовою високого рівня. Вона, як правило застосовується спільно з графічною бібліотекою Tk (Tool Kit).

Області застосування Tcl мови - швидке прототипування, створення графічних інтерфейсів для консольних програм (пакетів програм), вбудовування у прикладні програми, тестування. Іноді Tcl застосовується для створення CGI скриптів. В цілому Tcl мова, поряд з Perl і Python, стала одним з трьох класичних скриптових мов загального призначення.

Особливістю Tcl мови є відсутність ключових слів. Поняття команди в Tcl аналогічно поняттю процедури або функції звичайних мов програмування. Це відноситься і до керуючих конструкцій мови. У поєднанні з елементарним синтаксисом вказане забезпечує хорошу розширюваність мови, в тому числі

і бібліотеками, що написані на інших мовах, наприклад таких як C/C++ або Java.

Також у Tcl мові якісно реалізована модель управління програмою на основі подій. В ній події можуть генеруватися таймером, при появі даних в каналі, зміні значення змінної, при завершенні якої-небудь зовнішньої програми, або просто при роботі користувача з інтерфейсом Tk. В мові можна задавати свої події та керувати ними. Як і більшість сучасних скриптових мов Tcl містить розвинуті засоби роботи з регулярними виразами, працює з асоціативними масивами та іншими динамічними структурами даних.

Крім того, скриптова мова Tcl є також зручною для програмування мікроконтролерів і для неї існують декілька інтерпретаторів роботи з найбільш поширеними мікроконтролерами.

Але одним з основних недоліків Tcl, що обмежує її застосування в критичних з точки зору рівня інформаційної безпеки ІТС, є не реалізований функціонал об'єктно-орієнтованого програмування(ООП)[2].

Широке розповсюдження в якості скриптової мови знайшла мова Python, що є високорівневою мовою програмування загального призначення, особливістю якої є продуктивність і зрозумілість коду [5]. При цьому синтаксис ядра Python має мінімальні обмеження. Водночас стандартна бібліотека мови Python включає великий обсяг корисних функцій. Також в ній, на відміну від Tcl, можливо реалізувати ООП.

Еталонною реалізацією мови Python є інтерпретатор CPython, що підтримує більшість активно використовуваних платформ. Також є реалізації інтерпретаторів для JVM (з можливістю компіляції), MSIL (з можливістю компіляції), LLVM [6] та інших. Проект PyPy пропонує реалізацію Python на самому Python, що зменшує витрати на зміни мови та постановку експериментів над новими можливостями.

В мові Python набір операторів досить традиційний. Основними з них є такі[5, 6]:

- умовний оператор if. Альтернативний блок після else. Якщо умов і альтернатив кілька, можна використовувати elif;

- оператори циклу while і for. В середині циклу можливе застосування break і continue для переривання циклу і переходу відразу до наступної ітерації відповідно;

- оператор визначення класу class;

- оператор визначення функції, методу чи генератора def. У середині можливе застосування return для повернення з функції або методу, а у разі генератора – yield;

- оператор обробки виключень try - except - else або try – finally(починаючи з версії 2.5 можна використовувати finally, except і else в одному блоці);

- оператор pass нічого не робить. Використовується тільки для порожніх блоків коду.

Близькими до мови Python є мови Perl і Ruby[7]. Ці мови також мають широкі можливості і приблизно однакову швидкість виконання програм. Як і Perl, Python може успішно застосовуватися для написання скриптів. Як і Ruby, Python є добре продуманою системою для ООП. Крім того Python

використовується в GoogleNativeClient (NaCl) для взаємодії між програмним модулем NaCl і користувачем (а точніше його браузером).

Мова Perl є мовою програмування загального призначення, котра на початку розроблялась, як інструмент для обробки тексту, далі стала скриптовою мовою для обробки підпрограм, а тепер використовується, як повноцінна мова програмування для вирішення дуже широкого кола завдань. Наприклад системне адміністрування, веб-розробку, розробку мережного програмного забезпечення, та програмного забезпечення з графічним інтерфейсом користувача.

Мова Perl більш орієнтована на практичне (простота у використанні, ефективність, повнота), але поступається зрозумілістю та компактністю самого коду. В той же час вона має багато можливостей, включно із підтримкою кількох парадигм програмування (процедурне програмування, об'єктно-орієнтоване програмування, а також функціональне програмування), управлінням пам'яттю, вбудованою підтримкою системи обробки текстів, і величезною колекцією сторонніх модулів.

Загальна структура програм на мові Perl була запозичена у мові C. В цілому мова Perl є типовою процедурною мовою, зі змінними, виразами, присвоюваннями, дужками-розділювачами, блоками, циклами та підпрограмами.

В мові Perl також було запозичено деякі особливості з shell-програмування. Так назви усіх змінних розпочинаються зі спеціальних знаків, кожен з яких характеризує певний тип даних (наприклад, скаляри, масиви та хеш-таблиці). Важливо зазначити, що це дозволяє правильно інтерпретувати назви змінних безпосередньо у текстових рядках. Також мова Perl має багато вбудованих функцій, які забезпечують програміста інструментарієм, котрий часто використовується у shell-програмуванні (хоча, багато з цих інструментів реалізовується за допомогою зовнішніх інструментів), як то сортування або виклик зовнішніх програм. Крім того, в мові Perl запозичено списки з мови Lisp, асоціативні масиви (хеші) з AWK, і регулярні вирази з sed[7, 8]. Вказане спростило процес парсингу і обробки великих обсягів текстової інформації.

У версії мови Perl 5[8], була додана підтримка комплексних структур даних, функції першого класу, і об'єктно-орієнтованої моделі програмування. Що включає у себе посилання, пакунки, та інше. Серед найбільших нововведень у Perl 5 слід відмітити наявність модулів, які дозволяють повторно використовувати один і той же код.

У цілому усі версії Perl здійснюють автоматичне типізування змінних і управління пам'яттю. Інтерпретатор знає про тип та способи зберігання усіх об'єктів даних у програмі. Переклад одного типу даних в іншій – наприклад, числа в рядок – відбувається автоматично під час виконання, неможливі для виконання переклади типів даних призводять до фатальної помилки.

Таким чином, розглянуті три універсальних скриптових мови підходять для створення команд безпечного управління в ІТС. Так мова Tcl має широкий функціонал для роботи з апаратними засобами, як через виконання операцій в їхній пам'яті, так і через роботу напряму з інформацією, що зберігається. Скриптова мова Python підходить для створення команд, що будуть працювати з програмами, створеними на інших мовах програмування чи скриптами, що

стосуються апаратних засобів. Також в усіх трьох мовах реалізована можливість обробки виключень та повернення помилок у функціях. Що стосується Perl то на даний момент, завдяки можливостям, можна назвати специфічною мовою програмування, бо по функціоналу вона майже близька до C та Pascal (ці мови випереджують по кількості додаткових можливостей завдяки спеціалізованим бібліотекам). Що стосується інших мов то в них є недоліки, що заважають їх використанню для даних цілей. Так PHP не є універсальною мовою [9]. Це спеціалізована мова веб-програмування. І хоча ця мова досить швидка, вона по-перше не компактна, по-друге для кожної програми вимагає своїх параметрів адміністратора, по-третє існують випадки коли функції працюють некоректно (наприклад функції перекладу строки в число).

Мова Ruby[7] дуже схожа на мову Python. Хоча вона забезпечує трохи більшу швидкодію, але гірше оперує пам'яттю. Крім того через те, що Ruby скриптова мова розроблена пізніше, тому частіше проходить її оновлення, але бували випадки, коли наступне оновлення не підтримувало деякий функціонал попереднього. До того ж Python більш поширений і тому багато систем та скриптів є з ним сумісні, на відміну від Ruby. Тому було обрано, що Python більш зручна скриптова мова для нашої задачі.

Відносно мови Java, то вона має великий функціонал, який можна порівнювати з Python та Perl, але якщо програма працює не в її віртуальній машині, то дуже повільна робота з пам'яттю. Причому, чим більше об'єктів (особливо динамічних чи класів) створюється, тим повільніше працює програма.

З метою порівняння нами було проведено дослідження швидкодії та використання пам'яті на поширених скриптових мовах та мовах програмування. Для об'єктивності тестування програма працювала з рядком – базовим елементом будь-якої скриптової мови, а також виконувалася операція пере виділення пам'яті та конкатенація строк. Суть програми полягала у створенні рядка, а потім на кожній ітерації циклу дописувався до нього константний рядок. У табл. 1 відображено порівняння швидкодії (мови відображені у порядку зростання часу роботи програми в секундах).

У табл. 2 приведені дані відносно використання пам'яті в кілобайтах (КБ) (причому мови відображені у порядку зростання необхідного об'єму пам'яті). В цій таблиці значення пояснюють принцип роботи мови. Наприклад, для мов C, Perl, Python, характерно виділення малого об'єму пам'яті, а також малу інтенсивність його збільшення.

Для мов Tcl та PHP також низька швидкість нарощування обсягу пам'яті, але є відмінності. В мові Tcl не виділяється пам'ять, коли вона не потрібна для адресації, а коли потрібна - виділяється в повному об'ємі. В мові PHP відразу для роботи програми виділяється великий об'єм пам'яті.

Для Ruby та JavaScript характерно нерівномірно пропорційне виділення пам'яті, це виникає через особливість реалізації роботи з пам'яттю інтерпретатора (виділення пам'яті, запис, видалення). Крім того, при відсутності потреби в додатковому виділенні JavaScript має таку ж особливість, що й Tcl.

В C++ використовується метод сторінок пам'яті, тому виділяється тільки мінімально необхідний розмір пам'яті але кратний розміру сторінки пам'яті.

В мові JavaOpenJDK при роботі резервується великий об'єм пам'яті, що є незмінним доки його вистачає. Перевагою даного методу є те, що завдяки такому виділенню серед усього різноманіття компіляторів для Java, даний має найбільшу швидкодію.

Таблиця 1 – Час роботи програми при різних вхідних даних

Довжина рядка КБ	Perl5	C (gcc)	PHP	C++ (g++)	Ruby	Python	Javasc ript (sm)	tcl	Java (openJDK)
256	2	2	6	7	7	7	30	33	39
512	7	8	23	26	29	32	131	141	162
768	16	19	54	60	75	78	300	324	381
1024	27	34	96	107	141	144	535	583	711
1280	43	53	153	167	225	232	842	921	1161
1536	62	76	227	242	328	342	1220	1334	1751
1792	84	104	318	329	452	476	1672	1823	2489
2048	109	136	424	431	597	634	2203	2387	3370
2304	139	173	549	546	758	815	2799	3030	4453
2560	171	214	691	675	941	1019	3463	3753	5710
2816	206	259	849	817	1143	1248	4198	4553	7146
3072	245	309	1022	972	1366	1497	4997	5422	8852
3328	288	363	1211	1142	1607	1771	5875	6378	10784
3584	334	423	1414	1324	1869	2064	6825	7409	12696
3840	384	487	1634	1522	2150	2381	7848	8503	14861
4096	437	555	1869	1731	2455	2720	8928	9680	17262

Таблиця 2 – Об'єм пам'яті, що використовувався програмою

Довжина рядка	C (gcc)	C++ (G++)	Perl5	Python	Ruby	tcl	PHP	Javasc ript (sm)	Java (OpenJDK)
0	1,67	2,93	4,78	5,35	11,04	1,24	36,75	7,72	72,48
256	1,93	3,44	5,05	6,38	9,62	13,70	38,04	50,66	725,85
512	2,18	3,96	5,31	5,88	11,67	14,72	39,06	29,67	725,85
768	2,44	3,96	5,56	7,68	7,33	18,05	40,09	16,87	725,85
1024	2,70	4,98	5,82	6,39	12,70	14,72	41,11	53,22	725,85
1280	2,95	4,98	6,08	9,21	8,60	15,23	42,14	44,52	725,85
1536	3,21	4,98	6,33	6,90	11,16	18,82	43,16	21,48	725,85
1792	3,46	4,98	6,59	7,16	8,86	16,25	44,18	38,38	725,85
2048	3,72	7,03	6,84	11,52	13,72	16,76	45,21	51,18	725,85
2304	3,98	7,03	7,10	7,67	12,70	17,28	46,23	38,38	725,85
2560	4,23	7,03	7,36	7,92	11,16	22,91	41,88	41,96	725,85
2816	4,49	7,03	7,61	8,18	14,75	18,30	42,39	79,34	725,85
3072	4,74	7,03	7,87	8,44	15,77	18,81	49,30	73,70	725,85
3328	5,00	7,03	8,12	8,69	16,80	19,32	50,33	39,40	725,85
3584	5,26	7,03	8,38	12,54	17,82	19,84	43,92	27,62	725,85
3840	5,51	7,03	8,64	9,20	18,84	20,35	44,44	29,16	725,85
4096	5,77	11,12	8,89	9,46	15,77	20,86	44,95	96,23	725,85

Але якщо захист інформації забезпечується за допомогою використання спеціальних засобів захисту, наприклад модулів криптографічного захисту інформації(КЗІ), то виникає дві великих проблеми. По-перше збільшується необхідний код, бо з'являється програмний прошарок, для забезпечення взаємодії обраної скриптової мови та криптографічного модуля. По-друге через це необхідна значна швидкодія.

Тому конче необхідне створення перспективної спеціалізованої скриптової мови для використання в ІТС у яких застосовуються модулі криптографічного захисту інформації. При цьому повинні дотримуватись необхідні правила в частині забезпечення сумісності з подібними чи при оновленні даної ІТС. На основі наведеного вище рекомендується при розробці перспективної скриптової мови використовувати мови С, С++ чи Perl, але вибір мови залежить, як показав аналіз, від архітектури системи, необхідних правил роботи, програм з якими необхідна сумісність, та методів перетворення, що будуть використовуватися.

Вимоги скриптової мови управління криптографічним модулем. Аналіз показав, що управління в ІТС здійснюється за допомогою програмного та апаратно-програмного забезпечення, яке дозволяє оператору безпосередньо надавати ІТС команди на виконання. Це можуть бути, як звичайні команди для виконання, так і команди зміни певних конфігураційних записів системи. Також, з часом, при роботі виникає необхідність в забезпеченні:

- підвищення рівня безпеки ІТС;
- оптимізації роботи ІТС чи окремих її елементів;
- зміни чи збільшення функціональних послуг засобів КЗІ в системі;
- встановленні нових механізмів захисту інформації.

Зміна програм та алгоритмів засобів КЗІ в ІТС, а також інших елементів системи, може надаватися і самому користувачеві, але для безпечного оновлення повинні виконуватися наступні вимоги [10]:

–програмне забезпечення, що завантажене до програмно-апаратного засобу, повинне бути для отримання засвідчення перевірене засвідчувальним органом до завантаження;

–виведення даних через інтерфейс виведення даних повинне бути заборонене доки програмне, програмно-апаратне забезпечення завантажувється і тестування завантаження не буде успішно завершено;

–тестування завантаженого програмного забезпечення повинне бути здійснене до того, як завантажений код буде виконаний;

–криптографічний модуль повинен затримати виконання будь-яких завантажених або змінених затверджених функцій безпеки, доки не буде успішно виконане попереднє самотестування;

–до інформації про версію модуля повинні бути внесені зміни, що відображають додавання або оновлення завантаженого нового програмного забезпечення.

Також оператору повинен надаватись певний набір команд управління та дій. В подальшому цей набір може змінюватися, як розробником, так і самим оператором. Одним із способів надання користувачеві можливості створювати для модулів системи нові програми є створення скриптової мови за допомогою

якої будуть створюватися програми команд та протоколів. Таким чином команда оператора – це певний алгоритм записаний на скриптовій мові, який зрозумілий для модуля, якому ця команда надається.

За даних вимог оператор користуючись функціоналом скриптові мови зможе написати програму, що використовуючи функціональні послуги криптографічного модуля буде реалізовувати необхідні задачі, а розробником скриптові мови будуть надані усі необхідні можливості для створення нових команд та протоколів управління, але так щоб вони по замовченню мали безпечний режим.

Також скриптова мова необхідна для перетворення алгоритму програми, що написана користувачем за певними правилами, у код який може виконати криптографічний модуль, що використовується в ІТС.

Із наведеного вище, а також із [10 – 12], слідує що правила скриптові мови повинні дозволяти користувачеві реалізувати досить складний алгоритм, орієнтуючись на функціональні можливості модуля.

Існуючі правила можна поділити на три типи [11]:

–Структурні правила. Ці правила описують необхідну структуру коду. Вони необхідні для того, щоб перетворення коду виконувалося однозначно і не виникало випадків, коли користувач мав на увазі одне, а модуль виконує зовсім інше.

–Синтаксичні правила. Ці правила необхідні для виконання перетворення коду. Синтаксичні правила не визначають ніяких функцій модуля, але вони є необхідними для перетворення програми у необхідний код. Цими правилами керується компілятор при перетворенні коду, бо вони вказують чи відокремлюють різні структурні частини (як всієї програми в цілому так і окремих команд).

–Лексичні правила. Ці правила вказують перелік функцій, які може використовувати користувач та операції які ці функції виконують в модулі.

Аналіз показує, що частіше за все в скриптовій мові для модуля КЗІ структурні та синтаксичні правила наслідують від певної мови програмування, яка використовувалася для написання програмного ядра модуля КЗІ чи яка обумовлена рішенням замовника. Лексичні правила повністю залежать від набору функціональних можливостей модуля КЗІ.

Основна задача скриптові мови це перетворення програмного коду в код модуля КЗІ, для цього компілятором кожен запис в програмному коді перетворюється в певний набір байт, так званий байт-код. Далі, кожен програму, що завантажується в модуль можна назвати «командою», бо сам засіб визначає її, як ще одну команду яку може визивати користувач і яка виконує набір операцій. Крім того повинні бути зарезервовані слова, що вказують на початок та кінець окремих структурних блоків та під-блоків, а також повинен бути зарезервований символ кінця строки, що означає кінець одного запису параметру в блоці параметрів, чи запису однієї дії (команди, операції) в блоці коду [12]. Частіше за все це символ «;».

Також в блоці коду повинно бути синтаксичне відокремлення команди від її параметрів – це можуть бути символи « » чи «()». Крім того, в даному переліку

кожен параметр повинен відокремлюватися символами « », «,» чи «%». А також повинно вказуватися для змінних масивів номер елемента масиву, частіше за все цей номер відокремлюється символами «{ }»чи «[]». Структура одного рядка коду відображено на рис. 1.

Ідентифікатор операції	Символ - відокремлювач ідентифікатора	Перший параметр	Символ - відокремлювач параметрів	...	Останній параметр	Символ закінчення списку параметрів	Символ закінчення рядка коду
------------------------	---------------------------------------	-----------------	-----------------------------------	-----	-------------------	-------------------------------------	------------------------------

Рис. 1 – Структура одного рядка коду

З цього слідує, що лексичні правила залежать від методу перетворення програмного коду в байт-код. Всі лексичні записи можна розділити на дві групи [10]: мікрооперація модуля та команда роботи з параметрами.

Мікрооперація модуля – це команда на виконання якоїсь функції криптографічного модуля: зашифрування та розшифрування, вироблення та перевірка MAC коду, генерація випадкових біт, звернення до ключових даних, тощо. Ці мікрооперації задаються записом ідентифікатора певної мікрооперації та переліком параметрів, що їй передаються.

Команди роботи з даними поділяються на дві великих групи[10, 12]: арифметичні, та кодові. Арифметичні – це команди виконання арифметичних операцій. Методи виконання цих операцій бувають складні та прості. Прості наслідують властивості мови assembler, тобто одному запису відповідає лише одна операція. В складному методі в одному записі може бути декілька арифметичних операцій, тобто звичайний математичний запис. До того ж до арифметичних операцій можна віднести взяття елемента масиву, якщо його номер заданий змінною. Кодові команди – це умовні оператори та оператори переходу в іншу частину коду.

Всі лексичні команди повинні мати в своєму байт-коді[10, 11]:

- свій ідентифікатор (номер);
- прапорець, що вказує на те - це мікрооперація чи команда;
- ідентифікатори параметрів (змінні чи константи);
- самі параметри (розмір та значення констант, або для змінних – зміщення відносно початку таблиці змінних).

Таким чином перед перетворенням команди у байт-код потрібно обробити її параметри. Назви констант замінити на їх значення, змінні замінити на їх зміщення. Для змінних масивів, коли номер елемента задається константою, можливо знайти загальне зміщення та взяти цей елемент як окрему змінну, знаючи розмір одного елемента. Якщо номер заданий змінною, то потрібно викликати окрему операцію – взяття по індексу.

Наведені вище правила та вимоги покладені в основу при розробленні скриптової мови модуля КЗІ.

Специфікація скриптової мови. При розробці скриптової мови для модуля КЗІ, що призначений для застосування в ІТС, у відповідності з [10], було обрано такі принципи:

- спеціалізоване функціональне призначення;
- універсальність;

раціональність (квазіоптимальність);
здатність до зміни;
–інформативність повідомлень відлагодження.

Ці принципи полягають в наступному.

Спеціалізоване призначення. Особливість вимоги до скриптової мови безпечного управління модулем КЗІ полягає в тому, що на відміну від інших скриптових мов, програми повинні компілюватись тільки на ПК, а для виконання вони завантажуються у модуль КЗІ. Саме тому виникла необхідність створення нової мови, але при цьому вона повинна бути конкурентоспроможною з іншими спеціалізованими скриптовими мовами, бо тоді розробка нової мови не є раціональною.

Для цього було реалізовано можливість створення в цій мові своїх змінних значень, масивів, замін, використання системних констант та макросів, а також необхідних функційреалізації алгоритмів функціонування модуля КЗІ - функцій умовного та безумовного переходу, а також звертання до елемента масиву по змінному індексу. Визначено та реалізовано ряд необхідних арифметичних дій, які можливо застосовувати як в простому вигляді, так і в складних виразах. Для обробки таких виразів викликається спеціальна функція. Її виклик здійснюється тоді, коли сам запис програмного коду є арифметичним чи коли таким є один за параметрів мікрооперації чи команди.

Для полегшення обробки цього запису він перетворюється з використанням зворотного польського запису. Особливістю такої форми запису математичних виразів є те, що в ній знаки операцій розташовано після операндів. Такий зворотний польський запис є зручним для застосування в обчислювальних пристроях.

Наприклад вираз « $3+4*2/(1-5)$ » представляється у вигляді « $342*15-/+$ ». Обчислення даного виразу виконується за наступним алгоритмом.

Для кожного символу запису (A_i):

–Якщо A_i число, то вкласти його у стек.

–Якщо A_i оператор, то:

–витагуємо із стеку два числа;

–виконуємо дію із числами і результат вкладаємо в стек.

–Якщо A_i є унарною операцією то:

–витагуємо із стеку одне число;

–визначаємо значення функції із відповідним аргументом та поміщаємо результат у стек.

В кінці роботи в стеку знаходиться результат виразу.

Алгоритм перетворення запису полягає в наступному.

Зчитуємо символи поки не закінчиться рядок, і для кожного робимо наступне:

–Якщо A_i є числом то виводимо його у вихідний рядок.

–Якщо символ $A_i = '('$ то поміщаємо його в стек.

–Якщо символ $A_i = ')'$ то до тих пір, поки верхнім елементом стека не стане '(', виштовхуємо елементи з стека у вихідний рядок. При цьому '(' видаляється з стека, але у вихідний рядок не додається. Якщо стек закінчився раніше, ніж ми

зустріли '(', це означає, що у виразі або невірно поставлений розділовий знак, або не узгодженні дужки.

–Якщо символ A_i є оператором, то поки пріоритет оператора менше або дорівнює пріоритету оператора, що знаходиться на вершині виштовхуємо верхні елементи стека у вихідний рядок, після чого поміщаємо оператор в стек.

Щодо спеціалізованого призначення, то в скриптовій мові утворюються додаткові спеціальні структури:

–структури параметрів самої програми, які необхідні для її виконання модулем;

–структури байтових даних модуля, які використовуються для неявного виклику даних, що надаються модулем при необхідності, наприклад вимога безпеки, яка не дозволяє користувачу в явному вигляді отримати критичні дані і які використовуються в програмі модулем в зрозумілому тільки для нього вигляді, наприклад строки імен даних, їх індекси чи адреси в пам'яті.

Універсальність. Ця властивість полягає в простій логіці виконання програм скриптові мови. У відповідності з вимогою програми мають просту структуру, яку дозволяється розбити на три блоки:

1) Заголовок. В цій частині надається інформація для модуля КЗІ про нову «команду». Це її індивідуальний ідентифікатор, перелік ролей користувачів, що зможуть її використовувати, перелік станів криптографічного модуля при яких ця команда може використовуватися, перелік інформації в криптографічному модулі до якої є доступ під час виконання цього коду, а також довжина коду. Ця структурна частина повинна бути на самому початку програмного коду та після перетворення у байт-код повинна мати завжди один й той самий розмір (для однозначного трактування модулем). Саме наявність цього блоку і характеризує спеціалізоване призначення скриптові мови.

2) Блок параметрів. В цьому блоку йде перелік усіх параметрів команди. Для їх подальшого використання в коді програми компілятором будується таблиця значень. До цього переліку входять:

–Окремі константи, що мають власну назву. Таблиця значень має два поля: назва та значення. Розробник модуля може використовувати певні свої константи, тому ці значення завантажуються до неї окремим файлом.

–Дані вхідного та вихідного потоку. Задаються у вигляді назви окремого блоку потоку та його розміру. В таблиці заповнюється назва блоку та його зміщення відносно початку потоку.

–Перелік змінних команди. Задається ім'я та розмір, а для масивів ще й кількість елементів заданого розміру. Формується таблиця змінних з полями: ім'я, розмір та зміщення відносно початку.

Блок параметрів повинен бути перед блоком коду, щоб компілятор зміг замінити параметри на необхідні значення.

3) Блок коду. В цьому блоці записується сам код програми.

Даний набір блоків дозволяє реалізувати за допомогою команд скриптові мови усі необхідні для модуля КЗІ протоколи та алгоритми. Саме легкий поділ на малу кількість блоків і є характерною рисою більшості скриптових мов управління в ІТС.

Крім того, принцип універсальності полягає в тому, що характерні для певного модуля константи та мікрооперації підключаються окремими файлами до компілятора. Це дозволяє одному і тому ж інтерпретатору команд скриптової мови, при наявності декількох наборів системних файлів, створювати програми для різних модулів КЗІ зі схожими принципами роботи.

Але, як показав аналіз, на відміну від мов програмування, як і кожна скриптова мова у даної універсальності є певні границі. Це обмежена кількість параметрів у мікрооперації. І якщо модуль КЗІ вимагає для деяких своїх операцій більшу кількість параметрів, то необхідно або створювати новий інтерпретатор, або виходити з даного положення за рахунок використання макросів та вкладення функцій. Що стосується останнього, то скриптова мова дозволяє викликати функції одним з параметрів, якщо є інша функція і так далі. Інша границя – максимальний розмір одиничного елемента (змінної), коли при зміні архітектури модуля виникає необхідність в зміні інтерпретатора чи створенні спеціальних функцій представлення більших значень у вигляді масивів.

Недолік універсальності скриптової мови у порівнянні з іншими спеціалізованими скриптовими мовами полягає в тому, що в них використовуються динамічні данні, тобто змінні, які протягом роботи змінюють своє призначення, а в скриптовій мові управління модулем КЗІ використовуються типізовані дані. Вказане можна пояснити таким чином:

- необхідність квазіоптимізації вихідного байт-коду по критерію;
- принцип дії модуля, бо він працює з байтами напряму і тому необхідність в типах відпадає, але в той же час данні константної довжини та масиви байтів повинні бути розбиті на структури за певним принципом.

Квазіоптимальність. Цей принцип полягає в створенні байт-коду модуля КЗІ, який відповідає таким вимогам раціоналізації:

- усуненням зайвих команд на етапі компіляції, наприклад арифметичні дії з константами виконуються компілятором і відразу підставляється результат, а записи об'яви міток, запам'ятовуються компілятором у вигляді адрес, підставляються у необхідні місця і не займають місця у вихідному байт-коді;
- стисненням записів параметрів.

Аналіз показав, що більшість скриптових мов під запис параметрів виділяє в скомпільованому коді максимальну пам'ять для даного типу, що призводить у великих програмах до збільшення їх об'єму на 15-35%, а якщо це стосується криптографічного модуля, то крім збільшення необхідного для програми об'єму пам'яті, це призведе й до уповільнення її виконання. В скриптовій мові управління модулем КЗІ параметр аналізується і під його запис відводиться мінімально можливий об'єм пам'яті. Якщо це стосується мікрооперацій, то при наявності в них пустих полів – лише ставиться прапорець, що поле пусте і пам'ять не виділяється.

Здатність зміни. В інших скриптових мовах для збільшення їхньої власної функціональності випускаються додаткові функціональні бібліотеки, чи самими користувачами створюються спеціальні файли.

Оскільки бібліотеки – це набір скомпільованих даних, а програми, які розглядаються, компілюються для виконання в криптографічних модулях, то

використання і підключення додаткових бібліотек може бути дещо ускладненим. А за вимогами безпечного управління модулем КЗІ, можливість повного створення користувачем нових функцій для скриптової мови – заборонено.

Але є інший вихід. Суміщення цих двох способів. Розробником, при необхідності додавання нових функцій, будуть створюватися спеціальні макроси, що виконують необхідний функціонал, та записуються у системні файли, які використовує скриптова мова під час компіляції програм.

Інформативність повідомлень відлагодження. Для сучасних скриптових мов це є один з найбільш необхідних параметрів. Якщо в момент компіляції є неправильний запис, компілятор повинен для усунення помилки видати користувачу усю необхідну інформацію. Деякі мови у випадку неправильного використання параметру чи функції, замінюють їх на значення «nil» (невизначене значення, яке при прямому посиланні повертає false) і продовжують роботу. Але це недопустимо для безпечного управління криптографічними модулями. Тому скриптова мова управління криптографічним модулем у випадку знаходження неправильного запису повідомляє місце та причину помилки.

Оцінка нової скриптової мови. Для перевірки ефективності даних вимог була створена скриптова мова управління засобом КЗІ (мова УЗ КЗІ). На вхід інтерпретатора подавався текст скрипта, а на виході отримувався бінарний код для завантаження у криптографічний модуль.

В ній реалізовано можливість обробки 14 операторів, 9 вбудованих функцій, а також додатковим файлом підключаються функції криптографічного модуля. Скрипт має «жорстку» структуру. Змінні не мають типу, але мають визначений розмір 1, 2 або 4 байти, а також є можливість створювати одномірні масиви і структури.

Оскільки транслятор мови УЗ КЗІ відразу перетворює вхідний код у байт-код зрозумілий для криптографічного модуля, то значно збільшується швидкість обробки початкового коду програми (компіляції). В порівнянні з мовою С++ час компіляції зменшився на 35%, у порівнянні з мовою Python – 10%.

Крім того, що є найважливішим в компіляторі цієї мови вже реалізовані необхідні вимоги безпечного управління, що були перелічені в попередніх розділах.

При порівняльному аналізі нової скриптової мови та існуючих при використанні для безпечного управління засобом КЗІ виявилось, що мова УЗ КЗІ має більшу швидкодію, вже забезпечує необхідні механізми безпеки управління і самі по собі транслятор з компілятором займають значно менше місця у порівнянні з універсальними мовами. Недоліки прогноуються в тому, що при фундаментальній зміні засобу КЗІ виникає необхідність у значній переробці компілятора мови УЗ КЗІ, в той час коли універсальні мови, що були адаптовані для виконання задачі управління криптографічним модулем, потребують лише незначної зміни функцій парсингу програмного коду.

Висновки. Управління різноманітними ІТС – одна з областей інформаційної діяльності, в якій використовуються скриптові мови. Скриптова мова, що використовується для управління такими ІТС, повинна бути мовою

універсального призначення. Але, для якісного виконання функцій безпеки з застосування модуля КЗІ рекомендується розробляти та застосовувати спеціалізовану скриптову мову безпечного управління.

Скриптова мова безпечного управління модулем КЗІ створена у вигляді скриптової мови спеціального призначення, з універсальністю суб'єкта управління та оптимізацією вихідного байт-коду.

Вона краще підходить для даних цілей від інших скриптових мов, бо має такі властивості та характеристики:

1) Завдяки спеціалізованому призначенню автоматично заповнює необхідні поля параметрів програми і не вимагає для цього додаткових функцій, створення і використання яких знадобиться при спробі адаптації іншої скриптової мови для даних цілей.

2) Має більш низький рівень програмування ніж інші, але це необхідно для обробки записів криптографічним модулем. Крім того, хоча логіка записів знаходиться на більш низькому рівні, але вона дозволяє досить зручно створювати протоколи кваліфікованому працівнику, який повинен займатися управлінням та налагоджуванням криптографічного модуля.

Інші скриптові мови мають більший функціонал (особливо якщо рахувати додаткові бібліотеки), але для модуля КЗІ це зайвий функціонал в якому немає необхідності. І ті функції, що дозволяє скриптова мова безпечного управління модулем КЗІ є необхідними та достатніми для його повного функціонування.

Список літератури: 1. *Агібалов, Г. П.* О криптографическом расширении и его реализации для русского языка программирования [Текст] / *Г. П. Агібалов, В. Б. Липский, И. А. Панкратова* // Прикладная дискретная математика. — 2013 — № 3(21) — С. 93–104. 2. Turn your scripting language into a code generator [Electronic resource] / Some in-depth articles about programming, technology, science and mathematics. — Режим доступа: \www/ URL: http://www.gener8.be/site/articles/code_generation/code_generation.html — 2011. 3. *Ousterhout, J.* Scripting: Higher-Level Programming for the 21st Century [Text] / *J. Ousterhout* // IEEE Computer. — 1998. — Т. 31, № 3. — Р. 23–30. 4. *Ousterhout, J.* Tcl and the Tk Toolkit [Text] / *J. Ousterhout*. — Reading Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.—460 p. 5. *Лутц, М.* Изучаем Python [Текст]: пер. с англ. — 4-е издание. — СПб.: Символ-Плюс, 2011. — 1280 с. 6. *Alchin, M.* Pro Python [Text] / *M. Alchin*. — NY: Apress, 2010. — 368 p. 7. *Nguyen, Q.* CAD scripting languages: A collection of perl, ruby, python, Tcl, and SKILL scripts [Text] / *Q. Nguyen*. — San Jose CA: RAMACAD Inc, 2009. — 694p. 8. *Schwartz, R.* Learning Perl [Text] / *R. Schwartz, B. d Foy, T. Phoenix*. — 6th Edition.— Sebastopol CA: O'Reilly Media, 2011. — 390 p. 9. *Nixon, R.* Learning PHP, MySQL, and JavaScript [Text] / *R. Nixon*. — Sebastopol CA: O'Reilly Media, 2009. — 528 p. 10. *Прамм, Т.* Языки программирования: разработка и реализация [Текст] / *Т. Прамм, М. Зелковиц*. — 4-е издание. — СПб.: Питер, 2002. — 688 с. 11. *Ахо, А.* Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий [Текст] / *А. Ахо, М. Лам, Р. Сети, Д. Ульман*. — М: ИД «Вильямс», 2008. — 723с. 12. *Hoare C. A. R.* Record Handling[Text] / *C. A. R. Hoare* // Programming Languages.—1968. — P. 291 – 347.

Bibliography (transliterated): 1. *Agibalov, G. P., Lipsky V. B., Pankratova I. A.* (2013). Cryptographic extension of Russian programming language. Applied discrete mathematics, № 3(21), 93–104. 2. *Koen Van Damme.* (2011). Turn your scripting language into a code generator. Some in-depth articles about programming, technology, science and mathematics. Mode of access : \www/ URL: http://www.gener8.be/site/articles/code_generation/code_generation.html. 3. *Ousterhout, J.* (1998). Scripting: Higher-Level Programming for the 21st Century.IEEE Computer, 31, № 3, 23–30. 4. *Ousterhout, J.* (1994). Tcl and the Tk Toolkit. Reading Massachusetts, USA: Addison-Wesley, 460.

5. Lutz M. (2011) Learning Python. 4th edition. Translate from English, St. Petersburg, Symbol-Plus, 1280. 6. Alchin, M. (2010). Pro Python. NY: Apress, 368. 7. Nguyen Q. (2009). CAD scripting languages: A collection of perl, ruby, python, Tcl, and SKILL scripts. San Jose CA: RAMACAD Inc, 694. 8. Schwartz R., d Foy B., Phoenix T. (2011). Learning Perl. 6th Edition. Sebastopol CA: O'Reilly Media, 390. 9. Nixon R. (2009) Learning PHP, MySQL, and JavaScript. Sebastopol CA: O'Reilly Media, 528. 10. Pratt T., Zelkovits M. (2002) Programming Languages: Design and Implementation. 4th edition. St. Petersburg, Peter, 688. 11. Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, Jeffrey D. Ullman. (2008) Compilers: Principles, Techniques and Tools. M., Williams, 723. 12. Hoare C. A. R. (1968) Record Handling. Programming Languages, 291 – 347.

Надійшла (received) 25.05.2014

УДК 004.412

Е. И. СОЛОВЬЕВА, студентка, ХНУРЭ, Харьков

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ТРУДОЗАТРАТ НА СОЗДАНИЕ ИТ-ПРОЕКТА

Рассмотрены математические модели оценки трудозатрат на создание ИТ-проектов, выявлен общий вид модели оценки трудозатрат, предложен подход к повышению точности оценки трудозатрат на создание ИТ-проектов.

Ключевые слова: ИТ-проект, трудозатраты, метод функциональных точек, метод объектных точек, модель СОСОМО II.

Введение. Начиная с 2012-2013 г.г. количество ИТ-компаний на рынке Украины значительно увеличилось. ИТ-сектор улучшил свою бизнес-платформу, что позволило украинским компаниям подняться выше Индии и укрепить свой сегмент на рынке. В условиях жесткой конкуренции, ИТ-компании вынуждены повышать проходные барьеры, а также начинают разрабатывать инновационные продукты и технологии, позволяющие им занять лидирующие позиции среди известных международных игроков.

Одной из таких технологий является технология повышения точности оценивания затрат, на создание ИТ-проекта. Оценка затрат на выполнение ИТ-проекта может быть осуществлена на любом из ранних этапов создания проекта, включая инициацию. Более того, анализ затрат на начальном этапе даст возможность оценить рациональность, возможность и эффективность проекта, до того момента как документ о начале проекта будет подписан.

Анализ существующих методов расчета затрат на создание ИТ-проекта. В настоящее время существует множество методов расчета затрат на создание ИТ-проекта, среди которых можно выделить следующие [1]:

а) метод точек свойств (подобная метрика разработана, чтобы учитывать не только требования к системе, но и особенности ее реализации);

б) метод Mark II (дает одинаковый результат, как при оценке целой системы, так и при суммировании оценок полученных при анализе ее подсистем);

в) метод объектных точек (основан на положениях объектно-ориентированного подхода и модульном представлении программных систем);

г) метод ДеМарко (построен на основе использования эмпирических данных,

© Е. И. СОЛОВЬЕВА, 2014

полученные оценки корректируются с учетом хронологических данных по более ранним проектам, что дает аналитику не абстрактные показатели, а адекватные значения реальных затрат ресурсов и времени);

д) метод Wideband Delphi (метод основан на экспертных оценках по методу Delphi);

е) модели СОСОМО и СОСОМО II (модель СОСОМО в настоящее время устарела, так как подразумевала только каскадную модель жизненного цикла, и на смену ей пришла СОСОМО II, которая учитывает и спиральную и итеративную и каскадную модели, а также адаптирована к современным методологиям разработки программного обеспечения).

Однако не все методы могут использоваться на стадии инициации IT-проекта, когда разработчику необходимо определить экономическую выгодность проекта, а также необходимые для его реализации ресурсы. Методы Де-Марко, Mark II, точек свойств и Wideband Delphi не рекомендуется применять на данном этапе из-за невозможности получения необходимых оценок с приемлемым уровнем достоверности.

Поэтому, для подсчета на стадии инициации IT – проекта более рационально использовать метод функциональных точек, метод объектных точек и СОСОМО II. Использование этих методов дает аналитику приблизительное значение затрат с достаточным уровнем достоверности.

Цель работы. Метод функциональных точек на этапе инициации применим тогда, когда аналитику известны такие данные, как масштаб планируемого проекта, тип пользователей проекта, а также тип самого объекта проектирования. Данный метод позволяет найти количество функциональных точек в баллах, которые достаточно сильно отличаются от реальных значений [2].

Метод объектных точек требует аналитика точных знаний архитектуры IT-проекта, а также количество экранов, отчетов, таблиц, а также характеристику сплоченности команды, выполняющей данный проект. Данный метод достаточно точен, однако его использование оправдано лишь в случаях, когда создается типичная система, или существуют некоторые наработки [2].

Модель СОСОМО II на данный момент является самой усовершенствованной технологией, позволяющей рассчитать такие величины как время, затраченное на реализацию проекта, необходимое количество персонала, трудозатраты на IT-проект, а также необходимость в денежных средствах. Однако, одним из недостатков модели является использование показателя «тысяча условных строк кода», который не в полной степени отражает существующее положение вещей [2].

Исходя из этого, целью работы является исследование возможности симбиоза двух и более методов расчета затрат на основе взаимного преобразования метрик этих методов, отражающих знания различных участников IT-проекта о создаваемом программном продукте.

Сравнительный анализ методов расчета затрат на создание IT-проекта. Для решения поставленной задачи исследования автором в [3] предлагается подход основанный на комбинации классического метода функциональных точек, метода объектных точек и модели СОСОМО II, что позволит наиболее

полно отобразить все особенности ИС и ее программного обеспечения, которые возможно выявить в настоящее время с использованием существующих метрик. Этот подход наиболее тактически перспективен, однако для его реализации в ходе инициации ИТ-проекта следует модифицировать методы функциональных и объектных точек, чтобы они могли оценивать затраты на создание ИС на основе минимальной информации, имеющейся в распоряжении участников ИТ-проекта.

В основу классического метода функциональных точек легло представление реализуемой системы, как множества элементов, которые принадлежат к двум основным подгруппам: данные и транзакции. Данные можно разделить на два класса: внутренние логические файлы (ILF) и файлы внешних интерфейсов (EIF). Транзакции делятся на следующие классы: внешние вводы (EI), внешние выводы (EO) и внешние запросы (EQ). В классическом методе функциональных точек характеристики именно этих элементов позволяют определять количество нескорректированных функциональных точек (UFP), исходя из которого, рассчитывается количество функциональных баллов для создаваемой системы. Расчет объема продукта в функциональных баллах по методу функциональных точек осуществляется по формуле [4]

$$DFP = \left(\sum_{i=1}^{n_{ILF}} UFP_i + \sum_{j=1}^{n_{EIF}} UFP_j + \sum_{k=1}^{n_{EI}} UFP_k + \sum_{l=1}^{n_{IEO}} UFP_l + \sum_{m=1}^{n_{EQ}} UFP_m + CFP \right) \times \left((0,01 \times \sum_{p=1}^{14} DI_p) + 0,65 \right), \quad (1)$$

где DFP - количество скорректированных функциональных точек, оценивающих объем продукта (программного продукта или информационной системы), создаваемого в результате выполнения оцениваемого ИТ-проекта, с учетом

влияния общесистемных характеристик этого продукта; $\sum_{i=1}^{n_{ILF}} UFP_i$ - сумма

нескорректированных функциональных точек, характеризующая сложность структур данных, которые используются создаваемым продуктом в ходе

выполнения своих функций; n_{ILF} - количество ILF; $\sum_{j=1}^{n_{EIF}} UFP_j$ - сумма

нескорректированных функциональных точек, характеризующая сложность структур данных, которые поступают из внешних по отношению к создаваемому продукту файлов (например, из базы данных) в ходе выполнения создаваемым

продуктом своих функций; n_{EIF} - количество EIF; $\sum_{k=1}^{n_{EI}} UFP_k$ - сумма

нескорректированных функциональных точек, характеризующая сложность внешних интерфейсов для ввода данных, которые используются создаваемым продуктом для ввода данных от пользователя или устройства сбора информации

в ходе выполнения своих функций; n_{EI} - количество EI; $\sum_{l=1}^{n_{IEO}} UFP_l$ - сумма

нескорректированных функциональных точек, характеризующая сложность внешних интерфейсов для вывода данных, которые используются создаваемым

продуктом для вывода результатов выполнения своих функций; n_{EO} - количество EO; $\sum_{m=1}^{n_{EQ}} UFP_m$ - сумма нескорректированных функциональных точек, характеризующая сложность внешних запросов, которые используются создаваемым продуктом для предоставления информации пользователю или другой системе в ответ на заданные условия поиска; n_{EQ} - количество EQ; CFP - количество дополнительных функциональных точек, описывающих функции, необходимые в ходе внедрения создаваемого продукта; DI_p - системная характеристика создаваемого продукта.

Для учета общесистемных характеристик результата IT-проекта и специфических особенностей команды исполнителей IT-проекта результаты расчета нескорректированных функциональных точек могут умножаться на дополнительный коэффициент. Таким образом, выражение (1) может быть приведено к виду $Y = AX + B$, где B равен 0.

Рассмотрим подход к вычислению нескорректированных функциональных точек как элементов выражения (1). Основным способом определения значений UFP для любых ILF и EIF является оценка их сложности, которая в общем случае может быть описана следующим образом [4]:

$$UFP_i = f(\langle \sum_r^{n_{RET}} RET_r, \sum_s^{n_{DET_F}} DET_{F_s} \rangle), i = 1, \dots, n_{ILF};$$

$$UFP_j = f(\langle \sum_r^{n_{RET}} RET_r, \sum_s^{n_{DET_F}} DET_{F_s} \rangle), j = 1, \dots, n_{EIF},$$
(2)

где RET – сущность (Record Element Type), описывающая какой-либо объект предметной области автоматизируемого объекта или процесса, или же отдельный аспект этого объекта; n_{RET} - количество RET в каждом конкретном ILF или EIF; DET_F – уникальный атрибут (Data Element Type), используемый для описания упомянутой выше сущности; n_{DET_F} - количество DET_F в каждом конкретном ILF или EIF.

В общем случае RET может состоять из одного или нескольких DET_F , однако каждый DET_F должен принадлежать одному RET .

Основным способом определения значений UFP для любых EI, EO и EQ является оценка их сложности, которая в общем случае может быть описана следующим образом [4]:

$$EI_k = f(\langle \sum_r^{n_{FTR}} FTR_r, \sum_s^{n_{DET_T}} DET_{T_s} \rangle), k = 1, \dots, n_{EI};$$

$$EO_l = f(\langle \sum_r^{n_{FTR}} FTR_r, \sum_s^{n_{DET_T}} DET_{T_s} \rangle), l = 1, \dots, n_{EO};$$

$$EQ_m = f(\langle \sum_r^{n_{FTR}} FTR_r, \sum_s^{n_{DET_T}} DET_{T_s} \rangle), m = 1, \dots, n_{EQ},$$
(3)

где FTR – количество ILF и/или EIF, которые модифицируются или считываются в ходе реализации транзакции (File Type Referenced); n_{FTR} - количество FTR в

каждом конкретном EI, EO и EQ; DET_T – уникальный элемент, используемый для реализации транзакции; n_{DET_T} – количество DET_T в каждом конкретном EI, EO и EQ.

Метод объектных точек рассчитывает оценку объема предполагаемого к созданию программного кода в процессах инициации IT-проектов создания программных продуктов. Этот метод более прост, чем классический метод функциональных точек и дает немного более точные результаты. Каждая объектная точка может относиться к одной из следующих групп: экраны, отчеты и 3GL-модули создаваемого программного продукта. Расчет объема продукта в объектных точках осуществляется по формуле [5]:

$$NOP = \left(\sum_{i=1}^{n_{SCR}} OP_i + \sum_{j=1}^{n_{REP}} OP_j + \sum_{k=1}^{n_{3GL}} OP_k \right) \times (100 - \%reuse) / 100, \quad (4)$$

где NOP – количество новых объектных точек, оценивающее объем создаваемого продукта в объектных баллах; $\sum_{i=1}^{n_{SCR}} OP_i$ – сумма объектных точек, характеризующая

сложность программных объектов типа «экран», используемых для ввода данных в создаваемый продукт и вывода данных пользователю в ходе выполнения функций продукта; n_{SCR} – количество программных объектов типа «экран»;

$\sum_{j=1}^{n_{REP}} OP_j$ – сумма объектных точек, характеризующая сложность программных объектов типа «отчет», используемых для вывода данных в виде бумажных или электронных документов пользователю в ходе выполнения функций создаваемого продукта; n_{REP} – количество программных объектов типа «отчет»;

$\sum_{k=1}^{n_{3GL}} OP_k$ – сумма объектных точек, характеризующая сложность программных объектов типа «3GL-модуль», используемых для обработки данных в создаваемом продукте в ходе выполнения функций продукта; n_{3GL} – количество программных объектов типа «3GL-модуль»; $\%reuse$ – процент повторно используемых программных объектов указанных типов, величина которого определяется экспертным путем.

Таким образом, выражение (3) также можно представить как частный случай модели вида $Y = AX + B$. Отличие от метода классического функциональных точек заключается, главным образом, в точках зрения на элементы анализируемой ИС, что выражается в подходе к расчету значений объектных точек как меры сложности отдельных программных объектов создаваемого продукта [5]:

$$OP_i = f \left(\left\langle \left\langle \sum_r^{n_{SRVR}} SRVR_r, \sum_s^{n_{CLNT}} CLNT_s \right\rangle, \sum_t^{n_{Views}} Views_t \right\rangle \right), i = 1, \dots, n_{SCR}; \quad (5)$$

$$OP_i = f \left(\left\langle \left\langle \sum_r^{n_{SRVR}} SRVR_r, \sum_s^{n_{CLNT}} CLNT_s \right\rangle, \sum_t^{n_{VSections}} Sections_t \right\rangle \right), i = 1, \dots, n_{REP},$$

где $SRVR$ – таблица данных, расположенная на сервере и используемая в сочетании с экраном или отчетом; $CLNT$ – таблица данных, расположенная на

клиентской станции и используемая в сочетании с экраном или отчетом; *Views* - используемое представление, составляющее оцениваемый экран; *Sections* - используемая секция, составляющая оцениваемый отчет.

Количество объектных точек для 3GL-модулей в методе объектных точек по умолчанию предполагается равным 10.

Для оценивания трудозатрат в ходе планирования IT-проекта рекомендуется использовать модель COCOMO II Early Design, которая имеет следующий вид [5]:

$$PM = A \times [Size']^B \times \prod_{i=1}^7 EM_i + PM_M, \quad (6)$$

где PM - прогнозируемое значение трудозатрат на выполнение иницируемого IT-проекта; A - поправочный коэффициент модели COCOMO II, $A = 2,5$; $Size'$ - количество строк кода иницируемого IT-проекта; B - коэффициент, отражающий влияние на трудозатраты иницируемого IT-проекта масштаба и экономичности этого проекта; EM_i - драйвер затрат IT-проекта, $i = 1, \dots, 7$; PM_M - значение трудозатрат на реинжиниринг и конверсию программного кода, предполагаемые к выполнению в рамках иницируемого IT-проекта.

Данная модель позволяет измерить объем создаваемой системы с помощью показателя имеющего реальное физическое воплощение. Поэтому, как показывает практика, модель COCOMO II в большинстве случаев позволяет получить наиболее точные результаты трудозатрат и затрат времени на создание системы.

Для повышения точности расчет затрат авторы модели COCOMO II вводят в модели специальные поправочные коэффициенты. Однако, в отличие от метода функциональных точек, где все системные характеристики сведены в одну группу, модель COCOMO II позволяет разделить поправочные коэффициенты на следующие три группы [5]:

а) общесистемные коэффициенты, отражающие технологическую специфику разработки программных модулей командой исполнителей проекта (AA, AT, SU, UNFM, DM, CM и IM);

б) драйвера затрат проекта (RCPX, RUSE, PDIF, PERS, PREX, FCIL и SCED);

в) драйвера масштаба и экономичности проекта (PREC, FLEX, RESL, TEAM и PMAT).

Обсуждение результатов. В ходе инициации IT-проекта создания ИС информация о сущностях и атрибутах предметной области может быть получена в ходе предпроектного обследования автоматизируемого объекта или процесса, однако информацию о предполагаемых к использованию программных элементах получить затруднительно.

Использование метода объектных точек в ходе инициации IT-проекта также связано с определенными затруднениями. Так, информация о схеме базы данных ИС в ходе инициации IT-проекта создания ИС не может быть получена. Информацию о предполагаемом разделении экранов и отчетов можно получить в ходе предпроектного обследования документов, действующих на автоматизируемом объекте или процессе, исходя из предположения о переносе

структуры существующих документов в планируемые к созданию экраны и отчеты.

В качестве элементарных показателей, позволяющих осуществить расчет затрат на создание IT-проекта, модель COCOMO II использует величины *KNSLOC*, *KASLOC* и *BRAC*. Эти величины являются количественными и имеют материальное воплощение в виде конкретных строк кода, написанных «с нуля» или адаптированных, а также процента кода, написанного и выброшенного из проекта из-за изменения требований к ИС и ее функциям.

Одним из основных различий между методом объектных точек и моделью COCOMO II является то, что модель COCOMO II не делает различия между типами и назначением программных компонентов, воспринимая их все как различные варианты программных модулей, а в методе функциональных точек разница между экраном, отчетом и 3GL-компонентом важна.

Результатом объединения классического метода функциональных точек и метода объектных точек, можно считать представление ИС, которое:

а) четко определяет границы системы

б) делает акцент на тип объекта, который находится на границе системы, между ней и пользователем и является либо экраном, либо отчетом, а также учитывает наличие 3GL-модулей, которые отвечают за выполнение функций системы.

в) учитывает потоки данных, которые циркулируют внутри системы, а также между ней и другими приложениями (базы данных, и т.д.).

Представление ИС с точки зрения комбинации метода объектных точек и классического метода функциональных точек показано на рис. 1.

UFP(EI) являются транзакциями внешнего ввода, который пользователь осуществляет непосредственно в интерфейсы экранов. Экраны состоят из

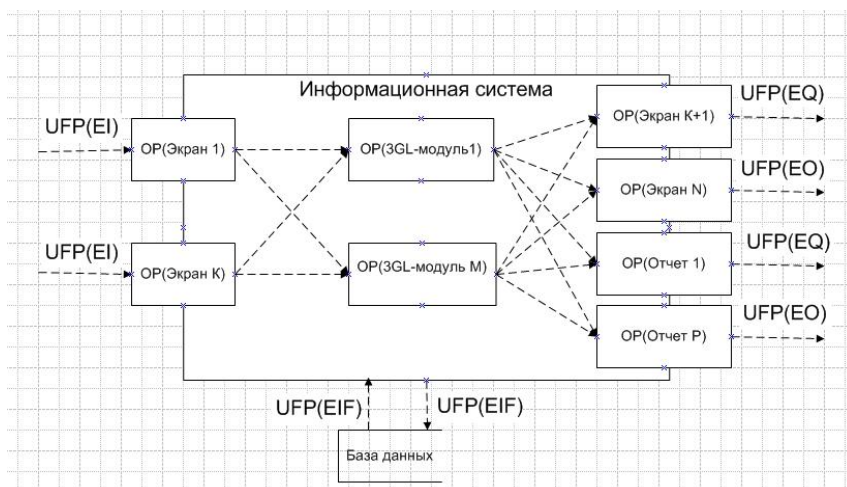


Рис. 1 – Представление информационной системы с точки зрения комбинации метода объектных точек и классического метода функциональных точек

определенного количества представлений (Views) и таблиц баз данных, с уже известной структурой. Далее транзакции отправляются на выполнение к 3GL-модулям, которые являются основой системы и представляют собой внутренние логические файлы (ILF). При обращении к БД запрос выделяет необходимые данные, а именно файлы внешних интерфейсов (EIF). Далее результат в виде внешнего вывода (EO) или внешнего запроса (EQ) подается на выход системы как экран, либо отчет, также с уже известной структурой.

Предлагаемая комбинация методов функциональных и объектных точек

позволяет вносить уточнения в модель, описывающую объем продукта, являющегося результатом иницируемого IT-проекта. Эти уточнения определяются как:

а) процент повторно используемых объектных точек, отражающий объем решений по информационному и программному обеспечению, повторно используемый в ходе создания IT-проекта;

б) множество системных характеристик DI_p , $p = 1, \dots, 14$, отражающее общесистемные особенности результата создаваемого IT-проекта.

Такой подход позволяет описать объем работ по созданию ИС как результата выполнения IT-проекта с помощью показателя «количество объектно-функциональных точек». В общем случае этот показатель будет рассчитываться по формуле

$$DOFP = \left(\sum_{i=1}^{n_{ILF}} UFP_i + \sum_{j=1}^{n_{EIF}} UFP_j + NOP + CFP \right) \times \left((0,01 \times \sum_{p=1}^{14} DI_p) + 0,65 \right), \quad (7)$$

где $DOFP$ - количество объектно-функциональных точек, характеризующих ту часть результата выполнения IT-проекта, которую следует создавать «с нуля».

В общем случае значение NOP рассчитывается по формуле (4), однако для определения количества объектных точек выражение (5) следует модифицировать таким образом:

$$OP_i = f \left(\left\langle \left\langle \sum_r^{n_{FTR}} FTR_r, \sum_s^{n_{DET}} DET_{T_s}, \sum_t^{n_{Views}} Views_t \right\rangle \right\rangle, i = 1, \dots, n_{SCR}; \right) \quad (8)$$

$$OP_i = f \left(\left\langle \left\langle \sum_r^{n_{FTR}} FTR_r, \sum_s^{n_{DET}} DET_{T_s}, \sum_t^{n_{Sections}} Sections_t \right\rangle \right\rangle, i = 1, \dots, n_{REP}, \right)$$

Подобный способ определения количества объектных точек позволяет отказаться от необходимости использовать информацию о базе данных ИС и разрешит проводить оценку, основываясь исключительно на представлениях структур данных и командных элементов, присутствующих на экранах и отчетах как программных объектах ИС.

Выражение (7) позволит также отказаться от представления 3GL-модулей как элементов ИС, количество объектных точек которых остается неизменным вне зависимости от особенностей структур данных, обрабатываемых в этих модулях. Это повысит точность расчета объема работ по созданию ИС и, соответственно, повысит точность оценки трудозатрат на создание соответствующего IT-проекта.

Предлагаемая комбинация методов функциональных и объектных точек может быть использована в модели СОСОМО II при условии, что каждый программный объект будет рассматриваться как самостоятельный программный модуль, для реализации которого следует написать определенное количество строк программного кода. В этом случае количество строк кода может быть получено на основе комбинации методов функциональных и объектных точек одним из следующих способов [6]:

а) в результате применения метода отката (backfiring);

б) в результате статистического анализа количеств строк кода, реализующих аналогичные модули в ранее выполненных IT-проектах.

Выводы. Предлагаемая комбинация методов функциональных и объектных точек с последующим использованием результатов расчета в модели СОСОМО II позволяет повысить точность оценивания затрат на создание IT-проекта в ходе его инициации следующим образом:

а) за счет максимального использования доступных в ходе инициации IT-проекта сведений о предметной области и создаваемом продукте;

б) за счет использования возможности уточнения модели расчета затрат путем ввода дополнительных коэффициентов (системные характеристики классического метода функциональных точек);

в) предоставления возможности использования модели СОСОМО II в ходе инициации IT-проекта, позволяющей учитывать особенности проекта, участников проекта и технологий его выполнения.

Список литературы: 1. Шафер, Д. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат [Текст] / Д. Шафер, Р. Фатрелл, Л. Шафер. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1136 с. 2. Евланов, М. В. Задача оценивания затрат на создание информационной системы [Текст] / М. В. Евланов, Е. И. Соловьева // *Materialy X mezinardni vedecko – prakticka conference «Veda a vznik – 2013/2014»*. – Dil 34. *Moderni informacni technologie*. – Praha: Publishing House «Education and Science», 2014. – С. 45-48. 3. Соловьева, Е. И. Подход к повышению точности оценивания трудозатрат на создание IT-проекта [Текст] / Е. И. Соловьева // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2014. - № 1 (65). – С. 144-149. 4. *Functional Point Counting Practices Manual. Release 4.1.1* [Text]. – Troy: IFPLUG, 2001. – 370 p. 5. *COCOMO II Model Definition Manual* [Электронный ресурс] // Сайт «Center for Systems and Software Engineering». – Режим доступа: ftp://ftp.usc.edu/pub/soft_engineering/COCOMOII/cocomo99.0/modelman.pdf. 6. Соловьева, Е. И. Сервис «Анализа затрат на создание IT-проекта информационной системы» [Текст] / Е. И. Соловьева // 18-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т. 6. – Харьков: ХНУРЭ, 2014. – С. 149-150.

Bibliography (transliterated): 1. *Shafer, D, Fatrell, R., Shafer, L.* (2001). *Software project management: achieving optimal quality at the lowest cost*. Moskva: Publising house “Vilyams”, 1136 p. 2. *Ievlanov, M. V., Solovyova, E. I.* (2014). The problem of estimating the cost of an information system. *Materialy X mezinardni vedecko–prakticka conference «Veda a vznik – 2013/2014»*, Dil 34. *Moderni informacni technologie*, Praha, Publishing House «Education and Science», 2014, 45-48. 3. *Solovyova, E. I.* (2014). The approach to improve the accuracy of estimation of labor costs for the creation of an IT-project. *Radioelectronics and computer systems*. Kharkov: Publishing house KhNAU “KhAP”, № 1 (65), 144-149. 4. *Functional Point Counting Practices Manual. Release 4.1.1* [Text]. Troy: IFPLUG, 2001, 370. 5. *COCOMO II Model Definition Manual* [Electronic Resource] // «Center for Systems and Software Engineering», ftp://ftp.usc.edu/pub/soft_engineering/COCOMOII/cocomo99.0/modelman.pdf. 6. *Solovyova, E. I.* (2014). Service “Cost analysis to establish IT-project of information system”. 18 International youth forum “Radioelectronics and youth in XXI century”, Vol. 6, Kharkov, Publishing house KhNURE, 149-150.

Поступила (received) 17.05.2014

И. В. ФИЛИППЕНКО, канд. техн. наук, ХНУРЭ, Харьков

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Данная статья посвящена вопросам разработки системы принятия решений при проектировании систем радиочастотной информации. Предложена архитектура и математическая модель системы принятия решений при проектировании систем радиочастотной идентификации. Приведена структурная схема взаимодействия программных модулей системы при проектировании системы радиочастотной идентификации по совокупности показателей качества.

Ключевые слова: математическая модель, система поддержки принятия решений, радиочастотная идентификация, методы оптимизации, электромагнитная совместимость.

Введение. В задачах логистики, для управления потоками штучных товаров и различных других областях возникает потребность в системах RFID с характеристиками (электромагнитная совместимость, дальность действия системы, быстродействие, скрытность передачи информации и другое) максимально отвечающими индивидуальным требованиям заказчика. От выбора параметров подсистемы RFID зависит работа всей системы автоматического контроля.

В связи с этим особую актуальность приобретает создание реконфигурируемой системы RFID, позволяющей в кратчайшие сроки и с минимальными затратами спроектировать систему с параметрами, максимально отвечающими требованиям заказчика. Это позволит сократить сроки от формирования технического задания до выхода продукции на рынок [1].

Наличие полной информационной базы и эффективной компьютерной системы поддержки принятия решений позволит оперативно и качественно производить анализ, обеспечивая информационную поддержку на всех этапах проектирования.

Цель работы. В работе предлагается структура компьютерной системы принятия решений при проектировании систем радиочастотной идентификации с заданными параметрами. Автоматизация процесса проектирования осуществляется за счет создания компьютерной модели для расчета оптимальных параметров системы.

Применение предложенной системы принятия решений позволяет автоматизировать процесс проектирования разработки оборудования, обладающего уникальным набором характеристик в соответствии с исходными данными заказчика и тем самым существенно сократить время, затрачиваемое на этапе проектирования [2, 3].

Разработка системы поддержки принятия решений. В основу системы принятия решений в соответствии со сформулированными требованиями системного характера была положена математическая модель проектирования

© И. В. ФИЛИППЕНКО, 2014

системы радиочастотной идентификации. В рамках данной модели предполагаются известными следующие данные: $n_{тз}$ – желаемое количество идентифицированных меток в поле ридера; Q – объем данных на метке; $P_{ош}$ – вероятность ошибки чтения; h^2 – соотношение сигнал-шум; r – радиус действия системы; F – максимальная полоса частот.

В процессе решения задачи нахождения оптимального варианта и оптимальных параметров системы радиочастотной идентификации необходимо обеспечить расчет следующих параметров F , B , $N_{лсп}$, P_c , n_{Σ} , K . Математическую модель системы можно представить в виде кортежа:

$$S = \langle F, N_{лсп}, B, P_c, n_{\Sigma}, K \rangle, \quad (1)$$

При проектировании системы учитывались ряд следующих важнейших ограничений.

1. Для решения задач ЭМС мощность передатчика ридера и меток должна быть меньше заданной. Мощность передатчика P_c ограничивается принятыми международными (например, ISO/IEC18000-4, ISO/IEC18000-6), региональными или отраслевыми стандартами ЭМС

$$P_c < P_c^*. \quad (2)$$

2. Радиус действия проектируемой информационной системы ограничен следующим соотношением [4]:

$$r \leq \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \sqrt{\frac{\gamma P_n G_1 G_2}{P_c}}, \quad (3)$$

3. Уровень взаимных помех в системе не должен быть выше порогового:

$$\rho^2 \leq \rho_{\max}^2, \quad (4)$$

где ρ_{\max}^2 – максимально возможное соотношение сигнал/шум в системе.

4. Возможное количество кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами [2]:

$$L \leq L_{\max} \quad (5)$$

где L – необходимое (искомое) количество кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами длины $N_{лсп}$; L_{\max} – максимально возможное количество кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами длины $N_{лсп}$.

5. Максимальное количество меток в зоне работы ридера. Допустимое число одновременно работающих меток в одном канале связи при заданном значении сигнал/шум определяется следующим соотношением [4]:

$$n_{\max} \leq \left\lfloor B \cdot \left(\frac{1}{h_{mp}^2} - \frac{1}{h_0^2} \right) \right\rfloor + 1, \quad (6)$$

где $\lfloor a \rfloor$ – целая часть числа a ; h_{mp}^2 – требуемое соотношение сигнал/шум для заданной вероятности ошибки $P_{ош}$; B – база сигнала; h_0^2 – минимально допустимое значение отношения сигнал/шум, при котором обеспечивается требуемое качество приема информации.

6. Ограничение соотношения сигнал/шум в зависимости от вероятности ошибки.

Полученная математическая модель (1) в соответствии с условиями, формализованными неравенствами (2) – (6), позволяет рассчитать основные параметры системы радиочастотной идентификации. Так как все параметры взаимосвязаны, то изменение состояния любого из них приводит к возникновению изменений других. Возможно множество решений данной задачи, следовательно, расчет искомых параметров целесообразно осуществить в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества (оптимальности) системы.

Компьютерная модель расчета оптимальных параметров включает в себя совокупность взаимосвязанных программных модулей позволяющих осуществлять сквозное проектирование RFID системы по входным данным заказчика. Структурная схема модели процесса проектирования, а также взаимодействия программных модулей компьютерной программы для расчета оптимальных

параметров системы RFID приведена на рис. 1. Подсистема диалогового интерфейса пользователя позволяет в диалоговом режиме осуществлять корректировку процесса проектирования



Рис. 1 – Схема взаимодействия программных модулей

в соответствии с предпочтениями ЛПР (заказчика).

Подсистема многокритериальной оценки и оптимизации технического решения осуществляет проектирование всех возможных технических решений при заданном ТЗ, используя математическую модель, разработанную в данной работе. Для выбора единственно оптимального решения системы используются методы многокритериальной оценки и оптимизации принятия решения [6]. Для этого вычисляются частные критерии, и обосновывается обобщенный критерий, в зависимости от степени важности частных критериев. Вычисляются значения обобщенного критерия для каждого варианта технического решения, и в качестве наилучшего выбирается тот, для которого значение минимально.

Из предложенных в меню свойств критериев и ограничений объекта формируется оптимальное техническое решение проектируемой системы. Если полученные результаты не удовлетворяют пользователя на данном этапе процесса, предлагается корректировка разрабатываемой системы путем изменения критериев и ограничений. Результаты каждого этапа проектирования являются входными данными для последующего этапа.

Система проектирования оперирует необходимыми данными и ограничениями, которые должны учитываться при проектировании, предоставляя пользователю через систему доступа нормативно-справочную информацию на этапе формирования модели выбора. Пример оконного интерфейса представлен

на рис. 2. Подсистема проектирования оптимального технического решения производит расчеты для осуществления выбора оптимальных ПСП из множества возможных (рис. 3) и определяет необходимые параметры для реализации блока задержки ответа метки на случайную величину.

Подсистема хранения данных предназначена для хранения разработанных систем и защиты от использования повторно кодовых комбинаций в других проектируемых системах.

Программа позволяет:

определять оптимальные технические характеристики и конфигурацию системы RFID в соответствии с требованиями заказчика;

– рассчитывать, отображать на экране и выдавать на печать основные характеристики планируемой системы;

– рассчитывать показатели электромагнитной совместимости (уровень взаимных помех) планируемой системы с другими беспроводными сетями;

– оптимизировать параметры планируемой системы, варьируя состав и технические характеристики проектируемого оборудования;

– подготавливать файлы для конфигурации ПЛИС разрабатываемой системы.

Данное программное обеспечение обладает достаточно гибким интерфейсом, что позволяет адаптировать его для решения задач разнообразной направленности.

Система проектирования реализованы на языке C++ Builder в виде единого программного модуля. Для организации взаимодействия проектировщика разработан дружественный интерфейс, который позволяет вести диалог с ЭВМ на профессиональном языке проектировщика в процессе проектирования системы. Он обеспечивает удобное задание исходных данных для работы системы.

Выводы. В данной работе представлена архитектура и математическая модель системы принятия решений при проектировании систем радиочастотной идентификации. Приведена структурная схема взаимодействия программных

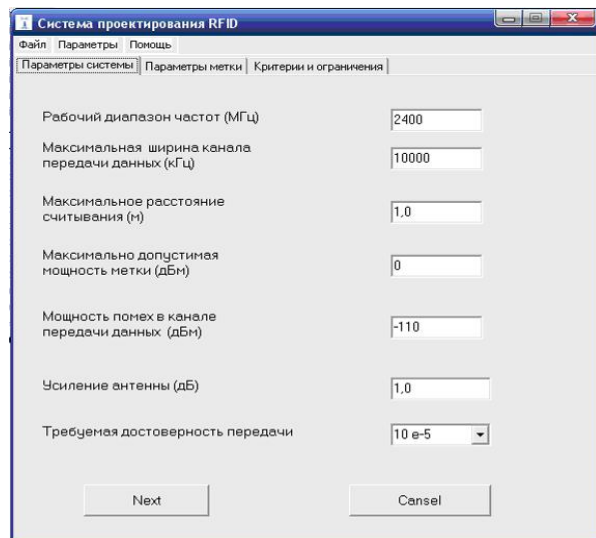


Рис. 2 – Оконный интерфейс. Окно ввода исходных данных

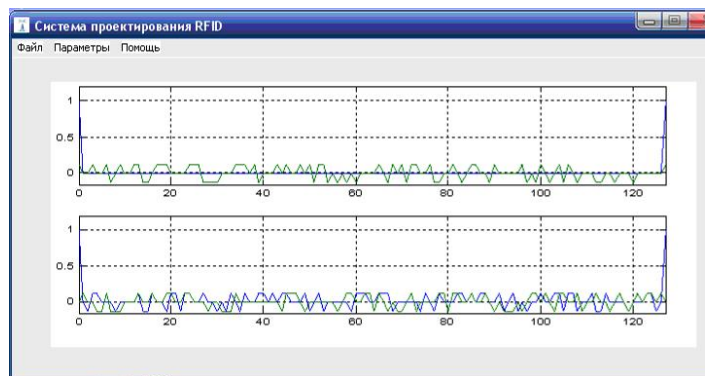


Рис. 3 – Оконный интерфейс. Автокорреляционная функция ПСП

модулей системи прийняття рішень при проектуванні системи радіочастотної ідентифікації по сукупності показателів якості.

Использование данной системы позволяет в сжатые сроки разработать проект новой системы радиочастотной идентификации, обладающей уникальным набором характеристик, при этом учитывать показатели электромагнитной совместимости проектируемой системы с другими сетями, работающими в той же местности, и оптимизировать характеристики разрабатываемой системы с целью максимального удовлетворения требований заказчика.

Список литературы: 1. Хаханов, В. И. Особенности построения систем радиочастотной идентификации [Текст] / В. И. Хаханов, И. В. Филиппенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Т. 6, № 3 (36). – С. 9–12с. 2. Гуткин, Л. С. Проектирование радиосистем и радиоустройств [Текст] / Л. С. Гуткин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с. 3. Гвоздева, В. А. Основы построения автоматизированных информационных систем [Текст] / В. А. Гвоздева, И. Ю. Лаврентьева. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. – 320 с. 4. Скляр, Бернард Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст] / Бернард Скляр; Изд. 2-е, испр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с. 5. Михалевич, В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем [Текст] / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. – 278 с. 6. Батищев, Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений [Текст] / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников. – ИПФ РАН. Н. Новгород, 1994. – 92 с. 7. Захарченко, М. В. Автоматизация проектування пристроїв, систем та мереж зв'язку [Текст] / М. В. Захарченко, В. К. Стеклов, Н. О. Князева та ін. – К.: Радиоаматор, 1996. – 268 с.

Bibliography (transliterated): 1. Hahanov, V. I., Filippenko, I. V. (2008). Special features of the RFID systems. East European Journal of advanced technology, Vol. 6 , 3 (36), 9–12. 2. Gutkin, L. S. (1986). Design of radio and radio Moscow, Radio and Communications, 288. 3. Gvozdeva, V. A., Lavrentiev, I. Yu. (2007). Fundamentals of automated information systems/ Moscow: Publishing House "FORUM" INFRA -M, 320. 4. Sklar , Bernard. (2007). Digital communication . Theoretical basis and practical application. Moscow: Publishing House "Williams", 1104. 5. Mihalevitch, V. S., Volkovich, V. L. (1982). Computational methods of investigation and design of complex systems. Nauka, 278. 6. Batishchev, D. I., Shaposhnikov, D. E. (1994). Multicriteria choice to suit individual. IAP, Nizhny Novgorod, 92. 7. Zakharchenko, M. V., Steklov, V. K., Knyazeva, N. O. (1996). Avtomatizatsiya proektuvannya pristroïv systems that trammel zv'yazku. Radioamator, 268.

Поступила (received) 22.05.2014

УДК 658.5.011.56

В. І. ШЕХОВЦОВА, канд. пед. наук, доц., УПА, Харків

ПРОБЛЕМА ВИБОРУ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗАСОБУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Приведена градація систем автоматизованого проектування та особливості кожного рівня. Представлена класифікація критеріїв щодо вибору засобу автоматизованого проектування при розробці САПР, приведені основні характеристики кожного критерія та їх ознаки. Визначені головні підходи до вирішення проблеми вибору засобу автоматизованого проектування.

Ключові слова: проектне середовище, життєвий цикл, функціональність, ефективність, реалізованість.

© В. І. ШЕХОВЦОВА, 2014

Вступ. Актуальним питанням сьогодення стає інтеграція широкого спектру можливостей засобів автоматизованого проектування (ЗАП), що дозволяє автоматизувати не окремі елементи, а весь процес проектування, конструювання та виробництва. Акцент робиться на зростання потужності та ефективності окремих фаз проектування з використанням методів генетичних алгоритмів, нейронних мереж та систем баз даних. Зростання функціональності САПР з одночасним ускладненням низки функцій привело до проблеми вибору оптимального засобу автоматизації з урахуванням людського фактору та інтерфейсу користувача [1].

Оскільки об'єкти автоматизації відрізняються за своїм розміром, ЗАП також мають бути різними. На ринку CAD/CAM/CAE систем існує велика різноманітність пропозицій, що відрізняються вартістю, функціональністю, ступеню охоплення проектно-технологічної та виробничої сфер підприємства. Отже, в [2] запропонована така градація систем:

1) Креслено – орієнтовані системи. До них відносяться AutoCad, ArchiCad, GraphicsCad, IsiCad, CadKey, тощо.

2) Системи середнього рівня, що вимагають ПК високого класу зі спеціальним графічним оснащенням, або молодші моделі робочих станцій, чи PISE-процесори. Такі системи дозволяють створювати електронну модель об'єкта в 3D просторі, та вирішувати задачі моделювання майже до моменту його виготовлення (Mechanical Desktop (Autodesk), PTI Modeler (Parametric Technology), Personal Designer (ComputerVision)).

3) Системи старшого рівня. Зазвичай працюють на робочих станціях чи графічних серверах RISC/UNIX/NT Windows. Підтримують повний електронний опис об'єкту, тобто розробку і підтримку електронної інформаційної моделі протягом усього життєвого циклу об'єкта. До них відносяться I/EMS (Intergraph), CATIA(IBM), Pro/Engineer (Parametric Technology), CADD5 (Computer Vision), Euclid, тощо.

Ціль роботи: розібратися в усьому різноманітті засобів автоматизованого проектування (ЗАП) та обрати саме той, який задовольнить всім вимогам розробника – складна задача, що потребує систематизації знань щодо пропозицій ринку та вимог користувача. Метою даної статті є класифікація критеріїв вибору ЗАП.

Результати дослідження. Для вибору ЗАП можна застосовувати різні шкали оцінки, які відповідають широкому спектру критеріїв. Такими шкалами можуть бути:

- числові шкали в широкому діапазоні значень, наприклад, обсяг потрібної пам'яті;
- числові шкали в обмеженому діапазоні значень, наприклад, зручність опанування, яка може оцінюватись в балах від 1 до 5;
- двійкові шкали (істина/кривда, так/ні), наприклад, спроможність генерації документації в форматі Postscript;
- шкали, які можуть приймати одне чи більше із кінцевої множини значень [3].

Отже, при оцінці і виборі засобів автоматизації найзначущими є такі

критерії, що приведені на рис. 1.

Після обрання, кожний критерій треба пристосувати з урахуванням особливостей конкретного процесу [4]. У більшості випадків тільки деякі із усієї множини критеріїв стають придатними для застосування, при цьому також додаються додаткові критерії. Вибір та уточнення набору критеріїв для



Рис. 1 – Структурований перелік критеріїв

застосування – критичне питання в процесі оцінки і/чи вибору засобів автоматизації. Розглянемо кожний з критеріїв детальніше.

Функціональні характеристики призначені для визначення функціональних характеристик ЗАП та поділяються на групи та підгрупи.

1. Середовище функціонування:

Проектне середовище: підтримка процесів життєвого циклу – визначає набір процесів ЖЦ, які підтримують ЗАП, а саме аналіз вимог, проектування, реалізація, тестування та оцінка, супровід, забезпечення якості, управління конфігурацією та управління проектом; **область застосування** – прикладами є системи обробки транзакцій, системи реального часу, інформаційні системи і т.д.; **розмір додатків, що підтримуються** – визначає обмеження на такі показники, як кількість рядків коду, рівнів вкладеності, розмір бази даних, кількість елементів даних, кількість об'єктів конфігураційного керування.

ПЗ/технічні засоби: необхідні технічні засоби – обладнання, що необхідне для функціонування ЗАП (тип процесора, обсяг оперативної і дискової пам'яті, тощо); **технічні засоби, що підтримуються** – елементи обладнання, які можуть використовуватись ЗАП, наприклад, пристрої вводу/виведення; **потрібне ПЗ** – операційні системи і графічні оболонки; **ПЗ, що підтримується** – програмні продукти, які можуть бути застосовані в автоматизованому проектуванні.

Технологічне середовище: відповідність стандартам технологічного середовища – такі стандарти стосуються мови, бази даних, репозиторію, комунікацій, графічного інтерфейсу користувача, документації, проекту, управління конфігурацією, безпеки, стандартів обміну інформацією та інтеграції за даними, за керуванням та за інтерфейсом користувача; **сумісність з іншими засобами** – спроможність до взаємодії з іншими засобами та безпосередній обмін даними. Можливість перетворення репозиторія чи його частини в стандартний формат для обробки іншими засобами; **методологія** – набір методів і методик, що підтримується ЗАП (структурний чи об'єктно-орієнтований аналіз і

проектування); мови: програмування, баз даних та запитів, графічні, специфікації проектних вимог та інтерфейси ОС [5].

2. Функції, які орієнтовані на фази життєвого циклу:

Моделювання. За цими критеріями визначають спроможність виконання функцій, що необхідні для специфікації вимог до ПЗ та перетворенню їх в проект: побудова діаграм – можливість створення та редагування діаграм різних типів за потребою користувача; графічний аналіз – можливість аналізу графічних об'єктів, а також зберігання і подання проектної інформації в графічному вигляді. У більшості випадків графічні аналізатори інтегровані із засобами побудови діаграм; увід і редагування специфікацій вимог і проектних специфікацій – до специфікацій такого роду відносяться опис функцій, даних, інтерфейсів, структури, якості, продуктивності, технічних засобів, середовища, витрат і графіків; мова специфікації вимог і проектних специфікацій – можливість імпорту, експорту і редагування специфікацій з використанням формальної мови; моделювання даних – можливість введення і редагування інформації, що описує елементи даних системи та їх відношення; моделювання процесів – можливість введення і редагування інформації, що описує процеси системи та їх відношення; проектування архітектури ПЗ – проектування логічної структури ПЗ – структури модулів, інтерфейсів та інш.; *імітаційне моделювання* – можливість динамічного моделювання різних аспектів функціонування системи на основі специфікацій вимог і/або проектних специфікацій, включаючи зовнішній інтерфейс і продуктивність (наприклад, час відгуку, коефіцієнт використання ресурсів і пропускну здатність); *прототипування* – можливість проектування та генерації попереднього варіанта всієї системи чи її окремих компонент на основі специфікацій вимог і/або проектних специфікацій; *генерація екранних форм* – можливість генерації екранних форм на основі специфікацій вимог і/або проектних специфікацій; *можливість відстеження* – можливість наскрізного аналізу функціонування системи від специфікації вимог до кінцевих результатів. Пряме відстеження (перевірка обліку всіх вимог) та зворотне відстеження (пошук проектних рішень, що не пов'язані з жодними зовнішніми вимогами); *синтаксичний і семантичний контроль проектних специфікацій* – контроль синтаксису діаграм і типів їх елементів, контроль декомпозиції функцій, перевірка специфікацій на повноту і несуперечливість; *інші види аналізу* – конкретні додаткові види аналізу можуть включати алгоритми, потоки даних, нормалізацію даних, використання даних, інтерфейс користувача; *автоматизоване проектування звітів* [6].

Реалізація: стосується функцій, що пов'язані із створенням виконуючих елементів системи (програмних кодів) або модифікацією існуючої системи. Такі критерії залежать від конкретних мов та включають наступне: синтаксично кероване редагування – можливість вводу і редагування початкових кодів на одній чи декількох мовах з одночасним синтаксичним контролем; генерація коду – можливість генерації кодів на одній чи декількох мовах на основі проектних специфікацій. Типи генерованого коду можуть містити звичайний програмний код, схему бази даних, запити, екрани/меню; компіляція коду; конвертування початкового коду – можливість перетворення коду із однієї мови в іншу; аналіз

надійності – можливість кількісно оцінювати параметри надійності ПЗ, такі, як кількість помилок та інші; реверсний інжиніринг – можливість аналізу існуючих початкових кодів і формування на їх основі проектних специфікацій; реструктуризація початкового коду – можливість модифікації формату і/або структури існуючого початкового коду; аналіз початкового коду – наприклад, визначення розміру коду, обчислення показників складності, генерація перехресних посилань і перевірка на відповідність стандартам; відлагодження – типові функції відладки – трасування програм, визначення вузьких місць та найчастіше застосованих фрагментів коду і т.д.

Тестування: опис тестів – типові можливості містять генерацію тестових даних, алгоритмів тестування, потрібних результатів і т.д.; *фіксація і повторення дій оператора* – можливість фіксувати дані, що уводяться оператором за допомогою клавіатури, миші і т.д., редагувати їх та відтворювати в тестових прикладах; *автоматичний запуск тестових прикладів; регресійне тестування* – можливість повтору і модифікації раніше виконаних тестів для визначення відмінностей в системі і/або середовищі; *автоматизований аналіз результатів тестування* – типові можливості мають порівнювати очікувані та реальні результати, порівняння файлів, статистичний аналіз результатів та інш.; *аналіз тестового покриття* – оснащеність засобами контролю вихідного коду і аналіз тестового покриття; *аналіз продуктивності* – можливість аналізу продуктивності програм. Аналізовані параметри продуктивності можуть включати використання центрального процесора, пам'яті, звернення до певних елементів даних і/або сегментів коду, часові характеристики і т. д.; *аналіз виключних ситуацій в процесі тестування; динамічне моделювання середовища* – зокрема, можливість автоматично генерувати вхідні дані системи, що моделюються.

3. Загальні функції - охоплюють всю сукупність фаз ЖЦ проекту. Підтримка всіх цих функцій здійснюється через репозиторій.

Документування: *редагування текстів і графіків* – можливість вводити та редагувати дані в текстовому і графічному форматах; *редагування за допомогою форм* – можливість підтримувати форми, які визначить користувач, вводити і редагувати дані у відповідності до форм; *можливості видавничих систем; підтримка функцій і форматів гіпертексту; відповідність стандартам документування; автоматичне отримання даних із репозиторія і генерація документації по специфікаціям користувача;*

Управління конфігурацією: *контроль доступу і змін* – можливість контролю доступу на фізичному рівні до елементів даних і контролю змін. Контроль доступу включає можливість визначення прав доступу до компонент, а також отримання елементів даних для модифікації, блокування доступу до них під час модифікації і повернення назад у репозиторій; *відстеження модифікацій* – фіксація та ведення журналу всіх модифікацій, що внесені в систему в процесі розробки чи супроводження; *управління версіями* – ведення і контроль даних щодо версій системи та всіх її колективно застосованих компонент; *облік стану об'єктів конфігураційного управління* – можливість одержання звітів про всі послідовні версії, зміст і стан різних об'єктів конфігураційного управління; *генерація версій і модифікацій* – підтримка опису користувача послідовності дій,

що потрібні для формування версій і модифікацій, та автоматичне їх виконання; *архівування* – можливість автоматичного архівування елементів даних для наступного використання.

Управління проектом: *управління роботами і ресурсами* – контроль та управління процесом проектування інформаційної системи в термінах структури завдань і призначення виконавців, послідовності їх виконання, завершеності окремих етапів проектування і проекту в цілому. Можливість підтримки планових даних, фактичних даних та їх аналізу. Типові дані містять графіки, комп'ютерні ресурси, розподіл персоналу, бюджет і т.д.; *оцінка* – можливість оцінювати витрати, графік та інші проектні параметри, що вводяться користувачами; *управління процедурою тестування* – підтримка управління процедурами і програмою тестування, наприклад, управління розкладом запланованих процедур, фіксація і запис результатів тестування, генерація звітів і т.д.; *управління якістю* – увід відповідних даних, їх аналіз і генерація звітів.

Надійність: *адміністрування репозиторію* – контроль і забезпечення цілісності проектних даних; *автоматичне резервування*; *безпека* – захист від несанкціонованого доступу; *обробка помилок* – виявлення помилок в роботі системи, сповіщення користувача, коректне завершення роботи чи зберігання стану до моменту переривання; *аналіз відмов в критичних додатках* [7].

Простота використання: *зручність інтерфейсу користувача* – зручність розташування і подання тих елементів екрану, що найчастіше використовуються, способів вводу даних та інш.; *локалізація* (у відповідності до вимог діючого законодавства); *простота опанування* – трудові та часові витрати; *адаптованість* до конкретних вимог користувача – до різних шрифтів, режимів текстового і графічного подання, різних форматів дати, способам вводу/виводу, змінам в методології та інш.; *якість документації* (повнота, зрозумілість, зручність читання, корисність та інш.); *доступність та якість навчальних матеріалів* – вони можуть включати електронні навчальні матеріали, навчальні посібники, курси; *вимоги до рівня знань* – кваліфікація та досвід, що необхідні для ефективного використання ЗАП; *простота роботи із ЗАП*; *уніфікованість інтерфейсу користувача*; *онлайнві підказки*; *якість діагностики*; *допустимий час реакції на дії користувача*; *простота установки і оновлення версій*.

Ефективність: *вимоги до технічних засобів* – вимоги до оптимального розміру зовнішньої та оперативної пам'яті, типу і продуктивності процесора; *ефективність робочого навантаження* – ефективність виконання ЗАП своїх функцій в залежності від інтенсивності роботи користувача; *продуктивність* – час, що витрачається ЗАП для виконання конкретних задач [8]. У деяких випадках дані оцінки продуктивності можна одержати із зовнішніх джерел.

Супроводжуваність: *рівень підтримки з боку постачальника*; *трасованість оновлень*; *сумісність оновлень*; *супроводжуваність кінцевого продукту* (простота внесення змін в ПЗ та документацію).

Переносимість: *сумісність з версіями ОС*; *переносимість даних між різними версіями ЗАП*; *відповідність стандартам переносимості*. Такі стандарти містять документацію, комунікації і інтерфейс користувача, віконний йнтерфейс, мови програмування, мови запитів та інш.

Загальні критерії - загальні за своєю природою та не належать до сукупності показників якості, що приводяться в стандарті ISO/IEC 9126: 1991. Включають вартість придбання, встановлення, початкового супроводу та навчання. Слід враховувати ціну для всіх необхідних конфігурацій; оціночний ефект від впровадження ЗАП. Така оцінка може вимагати економічного аналізу; профіль дистриб'ютора - включає розмір його організації, стаж в бізнесі, фінансове положення, список будь-яких додаткових продуктів, ділові зв'язки, планова стратегія розвитку; сертифікація постачальника. Сертифікати, що отримані від спеціалізованих організацій в області створення ПЗ (наприклад, SEI і ISO), які посвідчують, що кваліфікація постачальника в області створення і супроводження ПЗ задовольняє деяким мінімально необхідним або цілком певним вимогам. Сертифікація може бути неформальною, наприклад, на основі аналізу якості роботи постачальника; ліцензійна політика. Доступні можливості ліцензування, право копіювання, будь-які обмеження і/або штрафні санкції за повторне використання; експортні обмеження; профіль продукту. Загальна інформація про продукт, що включає термін його існування, кількість проданих копій, наявність, розмір і рівень діяльності групи користувачів, система звітів щодо проблем, програма розвитку продукту, сукупність застосування, наявність помилок та інш.; підтримка постачальника. Доступність, реактивність та якість послуг, що надаються постачальником для користувача ЗАП; адаптація, що потрібна для впровадження ЗАП в організації користувача.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Представлена класифікація критеріїв щодо вибору засобів автоматизованого проектування дозволяє всебічно розглянути пропоновані ринком продукти та знайти оптимальний варіант, який задовольнить вимогам розробника. Надалі необхідно розглянути показники, які дозволять точно оцінити представлені критерії та зробити об'єктивний вибір.

Список літератури: 1. Боровков, А. И. [Компьютерный инжиниринг. Аналитический обзор](#) - [Текст] / А. И. Боровков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с. 2. Латышев, П. Н. Каталог САПР. Программы и производители: Каталогное издание [Текст] / П. Н. Латышев. – М.: ИД СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 736 с. 3. Малюх, В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций [Текст] / В. Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с. 4. Березкина, Г. Л. Автоматизированная разработка АСОИУ: уч.-методич. комплекс [Текст] / Г. Л. Березкина. – ДГТУ. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 212 с. 5. Муромцев, Ю. Л. Информационные технологии в проектировании радиоэлектронных средств [Текст] / Ю. Л. Муромцев, Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин и др. – М.: Издательский центр "Академия", 2010. – 384 с. 6. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования. [Текст] / И. П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с. 7. Шеховцова, В. И. Проектное мышление как компонент проектной культуры специалиста [Текст] / В. И. Шеховцова // Вісник НТУУ „КПІ”. Філософія, психологія, педагогіка. – 2010. – № 3. – С. 204–207. 8. Макконнелл, С. Сколько стоит программный проект [Текст] / С. Макконнелл. – М.: Русская редакция, СПб.: Питер, 2007. – 297 с.

Bibliography (transliterated): 1. Borovkov, A. I. (2012). Computer engineering. Analytical review - Tutorial. St. Petersburg. Univ Polytechnic. University Press, 93. 2. Latyshev, P. N. (2011). CAD Catalog. Programs and producers: Catalog edition. ID SOLON-PRESS, 736. 3. Maljuh, V. N. (2010). Introduction to Modern CAD: Lectures. DMK Press, 192. 4. Berezkina, G. L. (2007). Automated

development ASOIC: educational-methodical. Complex. Eastern State Technical University. Vladivostok: Izd FESTU, 212. **5.** *Muromtsev, L. J., Muromtsev, D. J., Tyurin, I. V.* (2010). Information technology in the design of electronic equipment: studies. allowance for stud. Moscow: Publishing Center "Academy", 384. **6.** *Norenkov, I. P.* (2009). Fundamentals aided design: Textbook. for universities. Publishing House of the MSTU. Bauman, 430. **7.** *Shekhovtsova, V. I.* (2010). Design thinking as a component of design culture specialist. News of NTU "KPI". Filosofiya, psihologiya, pedagogika, 3, 204-207. **8.** *McConnell, C.* (2007). How much is a software project. Russian edition, St. Petersburg.: Peter, 297.

Надійшла (received) 25.05.2014

УДК 004.54

В. С. ЯКОВИНА, канд. фіз.-мат. наук, доц., НУ «Львівська політехніка»;
Д. В. ФЕДАСЮК, д-р техн. наук, проф., НУ «Львівська політехніка»;
О. О. НИТРЕБИЧ, аспірант, НУ «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ КРИТЕРІЇВ У МОДЕЛЯХ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Ефективне функціонування сучасних інформаційних технологій та комп'ютерної техніки неможливо уявити без якісної розробки програмного забезпечення. У роботі представлено модель оцінювання надійності програмного забезпечення з використанням Марковських ланцюгів вищого порядку, що дозволяє врахувати взаємозалежність виконання компонент програмного продукту. Для пошуку оптимального порядку Марковського процесу, що найбільш точно відображатиме характер виконання програмного забезпечення, проаналізовані інформаційні критерії.

Ключові слова: надійність програмного забезпечення, Марковські моделі вищого порядку, індуктивне моделювання, інформаційні критерії.

Вступ. Кожна помилка в програмному продукті, що використовується в системах відповідального призначення, таких як системи управління технічними об'єктами, на тепло та атомних станціях, медичному обладнанні і т.д. може призвести до серйозних наслідків і навіть аварійних ситуацій. При цьому стислість термінів розробки, обмеженість в людських і фінансових ресурсах часто не дозволяє достатньо протестувати ПЗ, виявити критичні ділянки його роботи та досягти необхідних показників надійності програмного продукту. Тому питання визначення надійності програмної системи є надзвичайно актуальною задачею.

У загальному розроблені моделі прогнозування та оцінювання надійності програмного продукту поділяються на моделі «чорної» та «білої» скриньки [1]. Для адекватного аналізу надійності програмного забезпечення найчастіше використовуються моделі «білої скриньки», які враховують архітектуру програмного продукту та вплив надійності кожної компоненти (функціонально незалежні модулі, які можна протестувати [2]) на надійність програмної системи в цілому.

На сьогодні велика кількість робіт присвячена дослідженню моделей на

© В. С. ЯКОВИНА, Д. В. ФЕДАСЮК, О. О. НИТРЕБИЧ, 2014

основі компонентного підходу, що використовують граф потоку керування для опису архітектури комп'ютерної програми [1, 3 - 9]. У даному підході архітектуру ПЗ можна змоделювати як ланцюг Маркова з дискретним часом, неперервним часом та напівмарківським процесом [3, 4]. Пізніше кожен з моделей класифікують на поглинаючу (містить поглинаючий стан – стан, з якого система вийти не може) та непоглинаючу (не містить поглинаючих станів). Окрім того даний клас моделей можна ще поділити на композиційні та ієрархічні моделі. До композиційних відносяться моделі, які одночасно комбінують архітектуру програмного продукту та характер його помилок для обчислення надійності ПЗ. В ієрархічних моделях спочатку розв'язується архітектурна модель, а потім поведінка помилок системи додається до існуючого результату для прогнозування надійності ПЗ.

Більшість з таких моделей прогнозування надійності розглядають Марковські ланцюги першого порядку [3–5], які моделюють процес використання програмного продукту, вважаючи, що виконання компонент є незалежним, хоча це не завжди відповідає дійсності. У зв'язку зі складністю архітектури сучасних програмних засобів та множиною сценаріїв їх використання, припущення про незалежність виконання компонент такого ПЗ не завжди справджується, а тому для аналізу надійності ефективніше розглядати Марковські ланцюги вищих порядків, використання яких веде до розв'язання ряду задач, основною з яких є визначення оптимального порядку Марковської моделі.

На сьогодні питання використання Марковських ланцюгів вищих порядків для оцінювання надійності ПЗ залишається недослідженим, при цьому досвід їх використання в задачах прогнозування прогнозу погоди, вибору адекватної екологічної моделі дає підстави припустити, що вони дозволяють більш точно визначити надійність програмного продукту. Однак використання Марковських ланцюгів вищих порядків у задачах оцінювання та прогнозування надійності програмного продукту [10] вимагає розв'язку наступних основних трьох задач:

- визначення оптимального порядку Марковського ланцюга;
- визначення ймовірностей переходів між компонентами;
- обчислення надійності програмного продукту.

У даній роботі на основі модифікованої моделі Гокаля вищого порядку для оцінки надійності ПЗ, що враховує залежність виконання компонент програмної системи, а також проаналізовані критерії вибору оптимальної довжини ланцюга Марковського процесу вищого порядку у відповідності до характеристик програмного продукту, що є одним з основних завдань під час використання Марковських ланцюгів вищих порядків.

Визначення надійності на основі Марковського ланцюга вищого порядку. Застосування Марковського процесу вищого порядку дозволить більш точно оцінити надійність програмного продукту [6, 7].

Взявши за основу модель оцінки надійності програмного забезпечення Гокаля [2], надійність цілої системи обчислюється за формулою:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i . \quad (1)$$

У свою чергу надійність кожної компоненти з використанням Марковських процесів вищого порядку обчислюється за формулою:

$$R_i = e^{-\int_0^{V_{ij..kl}} \lambda_i(t) dt}, \quad (2)$$

Для знаходження $V_{ij..kl}$ – очікуваної кількості відвідувань компоненти i в залежності від виконання попередніх N компонент, потрібно розв'язати систему лінійних рівнянь:

$$V_{ij..kl} = q_{ij..kl} + \sum_{i=1}^{n-1} V_{ij..kl} p_{ij..kl}. \quad (3)$$

Окрім того з протоколу виконання програмного забезпечення потрібно обчислити такі числові вхідні параметри:

- $p_{ij..kl}$ – ймовірність переходу в компоненту l в залежності від виконання попередніх N компонент;
- $q_{ij..kl}$ – початковий ймовірнісний вектор;
- $t_{ij..kl}$ – час виконання компоненти l у залежності від виконання попередніх N компонент.

Для знаходження інтенсивності відмов кожної компоненти можна скористатись моделями «чорної скриньки», побудованих на основі результатів модульного тестування: модель Гоеля-Окумото, Муси, S-подібну або модель з динамічним показником складності проекту [11].

Отримавши числові значення усіх параметрів моделі, можна обчислити надійність кожної компоненти за формулою (2) та значення надійності комп'ютерної програми у цілому (1).

Критерії визначення оптимального порядку моделі. Практичне використання запропонованої моделі передбачає визначення оптимального порядку Марковського процесу, який залежатиме від програмної системи, що досліджується, тобто від об'єкту моделювання. Це є задача структурної ідентифікації, або, іншими словами, задача побудови моделей за експериментальними даними, що зводиться до формування за даними вибірки деякої множини F моделей різної структури та вибору серед них найбільш адекватної.

У загальному критерії, що використовуються при виборі оптимальної моделі, можна розділити на три основні групи [12]:

- статистичні критерії, що базуються на обчисленні величини помилки моделі на одній і тій же частині вибірки, де й оцінюються параметри, та застосуванні апарату перевірки статистичних гіпотез;
- зовнішні критерії (застосовуються в МГУА – метод групового урахування аргументів) ґрунтуються на розбитті вибірки на дві й більше частин. На одній частині – «внутрішній» – здійснюється оцінювання параметрів, на іншій – «зовнішній» – визначається прогнозна здатність моделей. Застосовуються чотири групи таких критеріїв: точності, узгодженості, балансу і динамічні;
- критерії з явним штрафом за складність (зокрема, критерії АІС, ВІС та Малоуза), до помилки моделі «додають» адитивні або мультиплікативні штрафні

члени, які залежать від кількості точок у вибірці і від складності (числа параметрів) моделі.

Для визначення оптимального порядку Марковського процесу в задачах оцінки надійності програмного продукту пропонується використовувати інформаційні критерії, тобто критерії зі штрафом за складність, адже вони не є тестами перевірки гіпотези та не використовують рівень значущості [13]. У загальному інформаційні критерії базуються на методі максимальної правдоподібності та відрізняються різною функцією штрафів за складність моделі (кількість її параметрів). Якщо можна оцінити дисперсію помилок моделі, то використовується критерій Малоуза [14], в інакшому випадку критерії сімейства АІС та ВІС. Ці критерії вибору моделі – інструменти порівняння відповідності реальному процесу декількох моделей на основі однакових спостережуваних даних та вибору із даної множини моделей найбільш адекватної. Ці критерії широко використовувались в ряді досліджень, присвячених задачам прогнозування погоди, вибору адекватної екологічної моделі. Слід зауважити, що якщо модель, що найбільше відповідає реальному процесу, існує, але не належить множині, з якої здійснюється вибір, дані критерії не в змозі її визначити. Разом з тим, застосування цих критеріїв в задачах моделювання надійності програмного продукту залишається недослідженим. Таким чином метою цієї роботи є дослідження використання інформаційних критеріїв для визначення оптимального порядку Марковського ланцюга, яким моделюють процес використання програмної системи в задачах аналізу її надійності.

Варто зауважити, що у теорії інформаційних критеріїв розглядувані моделі, за визначенням, є лише апроксимацією реального процесу, саме тому Джордж Бокс зробив знамениту заяву: «Всі моделі неправильні, але деякі з них корисні». Окрім того, «краща модель» для аналізу даних залежить від розміру вибірки, адже деякі властивості моделі часто можуть бути виявлені тільки під час збільшення розміру спостережуваної послідовності.

У роботі проаналізовано два класи інформаційних критеріїв – ті, що базуються на мінімізації відстані Кульбака-Лейблера (міра відхилення моделі, що розглядається, від реального об'єкту) та на факті Байеса та показано їхнє застосування для випадку моделювання використання програмного забезпечення Марковським ланцюгом вищого порядку.

Критерії, побудовані на основі мінімізації відстані Кульбака-Лейблера. Інформаційний Критерій Акаїке (АІС) використовується для вибору найбільш адекватної моделі з набору моделей та базується на розширеному методі максимальної правдоподібності, був вперше опублікований Акаїке у 1974 [15]. Модель обирається так, щоб вона мінімізувала відстань Кульбака-Лейблера, яка є несиметричною мірою віддаленості двох ймовірнісних розподілів, один з яких зазвичай є "істинним", а інший – "тестовим".

В загальному випадку такий критерій обчислюється наступним чином:

$$AIC = 2k - 2\ln(L), \quad (4)$$

де k – число параметрів в статистичній моделі, L – значення функції максимальної правдоподібності моделі.

Розглянемо програмний продукт, що складається з S компонент (функціональні одиниці, які можна тестувати незалежно одна від одної). Вважаємо, що процес використання ПЗ моделюється Марковським процесом, який містить S станів.

Через $n_{ij..kl}$ позначимо кількість переходів з компоненти i в j у залежності від перебування в попередніх компонентах ($i \rightarrow j \rightarrow \dots \rightarrow k \rightarrow l$) у спостережуваній послідовності, а $p_{ij..kl}$ – ймовірність переходів між компонентами у даній послідовності. Варто зазначити, що значення $p_{ij..kl}$ обчислюються за формулою:

$$p_{ij..kl} = n_{ij..kl} / n_{ij..k}, \quad (5)$$

де $n_{ij..k} = \sum_{l=1}^S n_{ij..kl}$.

Тоді функція правдоподібності в такому випадку для критерію АІС дорівнює:

$$L = \prod_{i,j,\dots,k,l} p_{ij..kl}^{n_{ij..kl}}. \quad (6)$$

де $i, j, \dots, k, l = \overline{1, S}$.

Якщо підставити значення функції правдоподібності нашої моделі ПЗ (6) у критерій АІС (4) та замість параметру k підставити кількість параметрів в моделі p -порядку, що містить S компонент ($k = S^p(S-1)$), то отримаємо

$$AIC(p) = 2S^p(S-1) - 2 \ln \left(\prod_{i,j,\dots,k,l} p_{ij..kl}^{n_{ij..kl}} \right). \quad (7)$$

Застосувавши відповідні перетворення з логарифмом, одержимо таку формулу

$$AIC(p) = 2S^p(S-1) - 2 \sum_{i,j,\dots,k,l} n_{ij..kl} \ln(p_{ij..kl}). \quad (8)$$

Для $p=2$ формула матиме вигляд:

$$AIC(p) = 2S^2(S-1) - 2 \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S n_{ij} \ln(p_{ij}),$$

для $p=3$ формула матиме вигляд:

$$AIC(p) = 2S^3(S-1) - 2 \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^S n_{ijk} \ln(p_{ijk})$$

і т.д.

Значення порядку p , що мінімізує критерій АІС (8) відповідає оптимальному порядку Марковського ланцюга вищого порядку для даної моделі ПЗ.

Як бачимо у формулі (8) даний критерій не залежить від величини вибірки. Тому критерій АІС застосовується у випадку великого розміру вибірки (спостережуваної послідовності), тобто коли програмне забезпечення тестується багато раз і відповідно записується послідовність виконання компонент програмного продукту.

Для того, щоб можна було застосувати даний критерій у випадку невеликої кількості тестувань ПЗ та відповідно невеликої вибірки даних, варто використовувати критерій AIC другого порядку AICc [16], що в загальному випадку має формулу:

$$AICc = -2\ln(L) + \frac{2kn}{n-k-1} = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}, \quad (9)$$

де n – розмір спостережуваної послідовності. Очевидно, що зі збільшенням розміру вибірки AICc збігається до AIC (адже оскільки $n \gg k$, то $n-k-1 \rightarrow n$).

Для випадку пошуку оптимального порядку p Марковського ланцюга моделі використання програмного продукту, що містить S станів, за допомогою критерію AIC другого порядку, відповідно маємо формулу:

$$AICc(p) = AIC(p) + \frac{2S^p(S-1)(S^p(S-1)+1)}{n-k-1}. \quad (10)$$

Варто зазначити, що для того щоб обчислити відстань Кульбака-Лейблера для p -тої Марковської моделі, можна скористатись формулою [12]:

$$\Delta_p = AIC(p) - AIC_{\min}. \quad (11)$$

Також існують інші критерії, що базуються на мінімізації відстані Кульбака-Лейблера, але всі вони є розширенням критерію AIC (QAIC, TIC та ін.).

Байєсівські критерії. Альтернативою критерію AIC, яку запропонував Schwarz (1978) є критерій BIC [17], що включає розмір спостережуваної послідовності:

$$BIC(p) = -2\ln(L) + \ln(n)k. \quad (12)$$

BIC має інтерпретацію Баєйса, тобто цей критерій може бути розглянутий як апроксимація відношення апостеріорної ймовірності до апіорної. Не важко помітити, що цей критерій є аналогом AIC з більш строгою функцією штрафів (вже починаючи з розміру вибірки $n \geq 8$, $\ln(n)k$ перевищує $2k$).

Особливістю даного критерію є його застосування у випадку невеликого розміру спостережуваної вибірки.

Тобто у випадку використання критерію BIC для знаходження оптимального порядку Марковського процесу, що моделює процес використання програмного продукту, отримаємо формулу за аналогією із AIC:

$$BIC(p) = 2S^p(S-1)\ln(n) - 2 \sum_{i,j,\dots,k,l} n_{ij\dots kl} \ln p_{ij\dots kl}. \quad (13)$$

Одним із критеріїв, що належать до даної групи і використовується для вибірок $n \leq 20$ є HQIC [18], який ґрунтується на припущенні, що найбільш адекватною моделлю, яка відповідає реальному процесу є та, яка містить мінімальне число вільних параметрів статистичної моделі.

$$HQIC(p) = -2\ln(L) + \ln(\ln(n))k. \quad (14)$$

Однак такий критерій не знайшов широкого застосування на практиці.

Аналогічно, використовуючи цей критерій для знаходження оптимального порядку p Марковської моделі використання програмного продукту, отримаємо:

$$HQIC(p) = 2S^p(S-1)\ln(\ln(n)) - 2 \sum_{i,j,\dots,k,l} n_{ij\dots kl} \ln(P_{ij\dots kl}). \quad (15)$$

На відміну від критеріїв, що базуються на мінімізації Кульбака-Лейблера, та обирають з поміж заданої множини моделей найбільш адекватну (вважаючи, що «точної» моделі може і не бути в розглядуваній множині моделей), критерії Байеса вибирають з певною ймовірністю «правдиву» модель, і ймовірність вибору такої «точної» моделі прямує до 1, при збільшенні розміру вибірки (тобто дані критерії передбачають наявність «точної» моделі серед множини моделей, що розглядається).

Висновки. У даній роботі представлено модель оцінювання надійності програмного забезпечення із використанням Марковських ланцюгів вищого порядку. Для пошуку оптимального порядку такої моделі проведений аналіз використання інформаційних критеріїв для визначення оптимального порядку Марковського процесу та показано випадки застосування даних критеріїв залежно від кількості спостережуваних даних вибірки.

Так, при малому обсязі вибірки емпіричних даних стосовно поведінки надійності програмного продукту доцільно використовувати критерій ВІС, який накладає сильніші штрафи вже при розмірі вибірки $n > 8 (\ln(n)k > 2k)$, що повинно дозволити уникнути необґрунтованого збільшення оптимального порядку моделі через недостатню кількість емпіричних даних. і збільшує імовірність вибору "точної" моделі (за умови існування останньої). За наявності великої вибірки емпіричних даних питання вибору критерію залишається відкритим і потребує експериментальних досліджень, оскільки АІС з одного боку не передбачає наявності "точної" моделі, а оцінює ступінь близькості моделей тестової множини до "істинної" моделі, з іншого боку критерій ВІС при збільшенні розміру вибірки збільшує імовірність вибору "точної" моделі (за умови існування останньої).

Таким чином, зроблені висновки потребують експериментального підтвердження, тому подальші дослідження будуть присвячені практичній перевірці отриманих результатів.

Список літератури: 1. Goseva-Popstojanova, K. Comparison of architecture-based software reliability models [Text] : 12th inter. symp. / K. Goseva-Popstojanova, A. P. Mathur, K. S. Trivedi // Software Reliability Engineering. – 2001. – P. 22–31. 2. Gokhale, S. An analytical approach to architecture-based software performance reliability prediction [Text] / S. S. Gokhale, W. E. Wong, J. R. Horgan, S. Kishor // Performance Evaluation. – 2004. – Vol. 58 (4). – P. 391–412. 3. Pham, H. System Software Reliability [Text] / H. Pham // Springer series in reliability engineering, Springer-Verlag London Limited. – 2006. – 441 p. 4. Goševa-Popstojanova, K. Architecture-based approach to reliability assessment of software systems [Text] / K. Goševa-Popstojanova, S. Trivedi // Performance Evaluation 4. – 2001. – P. 179–204. 5. Krishnamurthy, S. On the estimation of reliability of a software system using reliabilities of its components [Text] : proc. of the eighth inter. symp. / S. Krishnamurthy, A. Mathur // Software Reliability Engineering. – 1997. – P. 146–155. 6. Burkhart, W. Testing Software and Systems [Text] : 23rd Ifip Wg 6.1. / W. Burkhart, Z. Fatiha // International Conference. – 2011. – 236 p. 7. Takagi, T. Accurate Usage Model Construction Using High-Order Markov Chains [Text] : proc. of 17th. inter. symp / T. Takagi, Z. Furukawa, T. Yamasaki // Software Reliability Engineering. – 2006. – P. 1-2. 8. Palviainen, M. The reliability estimation, prediction and measuring of component-based software. [Text] / M. Palviainen, A. Evesti, E. Ovaska // Journal of Systems and Software. – 2011. – Vol. 8 (6). – P.105-1070. 9. Ying Zhang. Software Reliability Test Methods Based on Component Composition and Markov Process. [Text] / Ying Zhang, Ping He //

Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 660. – P.169-173. **10.** Яковина., В. Використання інформаційного критерію Акаїке в задачах моделювання надійності програмного забезпечення [Текст] / В. Яковина, О. Нитребич, Д. Федасюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2012.– № 732 – С. 190–192. **11.** Чабанюк, Я. Побудова і дослідження моделі надійності програмного забезпечення з індексом величини проекту [Текст] / Я. М. Чабанюк, В. С. Яковина, Д. В. Федасюк, М. М. Сенів, У. Т. Хімка // Інженерія програмного забезпечення. – 2010. – №1. – С. 24–29. **12.** Степашко, В. Методы и критерии решения задач структурной идентификации [Текст] / В. С. Степашко, Ю. Л. Кочерга // Автоматика. – 1985. – №5. – С. 29-37. **13.** Burnham, P. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach [Text] / P. Burnham, D. Anderson // Springer. – 2002. – 488 p. **14.** Mallows, C. Some comments on Cp [Text] / C.L. Mallows // Technometrics. – 1973. – V.15. – P. 661-667. **15.** Akaike, H. A new look at the statistical model identification [Text] / H. Akaike // IEEE Trans. Auto. Control. – 1974. – P. 716-723. **16.** Liew, K. The Performance of AICC as an Order Selection Criterion in ARMA Time Series Models [Text] / K. Liew, S. Mahendran S. // Pertanika J. Sci. & Technol. – 2002. – P. 25-33. **17.** Schwarz, G. Estimating the Dimension of a Model [Text] / G. Schwarz // Annals of Statistics. – 1978. – P. 461–64. **18.** Hannan, E. The determination of the order of an autoregression [Text] / E. J. Hannan, B. G. Quinn // Journal of Royal Statistical Society. – 1978. – Vol. 41. – P. 190-195.

Bibliography (transliterated): **1.** Goseva-Popstojanova, K. (2001). Comparison of architecture-based software reliability models. 12th International Symposium on Software Reliability Engineering, 22-31. **2.** Gokhale, S. S., Wong, W. E., Horgan, J. R., Kishor, S. (2004). An analytical approach to architecture-based software performance reliability prediction. Performance Evaluation, 58 (4), 391–412. **3.** Pham, H. (2006). System Software Reliability. Springer series in reliability engineering, Springer-Verlag London Limited, 441. **4.** Goševa-Popstojanova, K., Trivedi, S. (2001). Architecture-based approach to reliability assessment of software systems. Performance Evaluation 4, 179–204. **5.** Krishnamurthy, S., Mathur, A. (1997). On the estimation of reliability of a software system using reliabilities of its components. Proceedings of the Eighth International Symposium on Software Reliability Engineering, 146–155. **6.** Burkhart, W., Fatiha, Z. (2011). Testing Software and Systems. 23rd Ifip Wg 6.1 International Conference, 236. **7.** Takagi, T., Furukawa, Z., Yamasaki. T. (2006). Accurate Usage Model Construction Using High-Order Markov Chains. Supplementary Proceedings of 17th International Symposium on Software Reliability Engineering, 1–2. **8.** Palviainen, M., Evesti, A., Ovaska, E. (2011). The reliability estimation, prediction and measuring of component-based software. Journal of Systems and Software, 8 (6), 105-1070. **9.** Ying Zhang, Ping He. (2013) Software Reliability Test Methods Based on Component Composition and Markov Process. Advanced Materials Research, 660, 169-173. **10.** Yakovyna, V., Nitrebych, O., Fedasyuk, D. (2012). Usage of the information Akaike criterion in reliability modeling software problems // Journal of National University "Lviv Polytechnic". Computer Science and Information Technology, 732, 190–192. **11.** Chabanyuk, Y. M., Yakovyna, V. S., Fedasyuk, D. V., Seniv, M. M., Himka, U. T. (2010). Construction and studying software reliability models with index of the project value. Software Engineering, 1, 24–29. **12.** Stepashko, V., Kocherha, Y. (1985). Methods and criteria for solving structural identification. Automatics, 5, 29–37. **13.** Burnham, P., Anderson, D. (2002). Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. Springer, 488. **14.** Mallows, C. (1973). Some comments on Cp. Technometrics, 15, 661–667. **15.** Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Auto. Control., 716–723. **16.** Liew, K., Mahendran, S. (2002). The Performance of AICC as an Order Selection Criterion in ARMA Time Series Models. Pertanika J. Sci. & Technol., 25–33. **17.** Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. Annals of Statistics., 461–64. **18.** Hannan, E., Quinn, B. (1978). The determination of the order of an autoregression. Journal of Royal Statistical Society, 41, 190–195.

Надійшла (received) 25.05.2014

Г. І. ХІМІЧЕВА, д-р техн. наук, проф., КНУТД, Київ;
Я. І. ШЕХОВЦОВА, студент, КНУТД, Київ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ТУРИСТИЧНИХ ПОСЛУГ

У роботі запропоновано використовувати методику «Таємний покупець» для оцінки якості та безпеки туристичних послуг з використанням структурування функції якості. Сутність підходу в тому, щоб оцінювати якість та безпеку туристичних послуг з погляду споживача. Побудовано алгоритм використання «Mystery Shopping» з визначенням критеріїв, що впливають на якість та безпеку туристичних послуг.

Ключові слова: туристична послуга, якість, безпека, методика «Таємний покупець», функція якості.

Вступ. Туристичні послуги як форма задоволення потреб людей у відпочинку має великий вплив на життя світового суспільства.

Туристичні послуги - послуги суб'єктів туристичної діяльності щодо розміщення, харчування, транспортного, інформаційно-рекламного обслуговування, а також послуг закладів культури, спорту, побуту, розваг, спрямовані на задоволення потреб туристів [1].

На сьогодні в Україні існують усі передумови для розвитку туризму: економічні, культурно-історичні, соціально-демографічні, природно-географічні.

Якість туристичних послуг визначається рівнем сервісу, професіоналізмом працівників та значною мірою залежить від їхньої особистої зацікавленості та уваги до клієнтів.

Бурхливий розвиток міжнародного туризму, його поширення на всі райони земної кулі все гостріше ставить проблему забезпечення безпеки туристів. Безпека туристичних послуг включає в себе безпеку туристів, цілісність майна, а також нанесення шкоди природному середовищу під час подорожі.

Універсальність проблеми якості і безпеки загальноновизнана. Дана проблема набуває особливої актуальності в Україні у зв'язку з поглибленням ринкових відносин, загостренням конкуренції, що обумовлює необхідність підвищення якісних характеристик продукції, в тому числі і якості туристичних послуг, а також їх безпеки.

Нині туризм визнано пріоритетною галуззю економіки України, і для його подальшого розвитку важливого значення набуває проблема досягнення якості та безпеки вітчизняних туристичних послуг на міжнародному туристичному ринку.

Постановка проблеми. Туризм є одним з перспективних напрямів розвитку, а в умовах постійних змін економіки України, підвищення якості та безпеки цих послуг набуває особливої актуальності.

Закон України «Про туризм» [2] потребує оцінки заходів спрямованих на забезпечення безпеки туристів, що пов'язано з можливим погіршенням якості та безпеки туристичних послуг. З просуванням на ринок туристичних послуг значно

збільшилась кількість споживачів, що призвело до зростання довіри стосовно даного продукту. З початком дії закону «Про туризм» споживач отримав більш детальну та достовірну інформацію з надання туристичних послуг.

На сьогодні існує методика «Mystery Shopping», яка здатна оцінити фактичний рівень якості та безпеки туристичних послуг з позиції споживача. Однак в своєму дослідженні вона не враховує пріоритетності впливу кожного етапу, що дуже важливо. Тому необхідно проводити дослідження в галузі визначення пріоритетності окремих груп критеріїв, які мають вплив на якість та безпеку туристичних послуг.

Літературний огляд. На сьогодні в Україні, як і в Росії, нема ґрунтовних досліджень у галузі «Mystery Shopping». Інформація щодо методики має несистемний характер, немає ґрунтовних досліджень і подається у вигляді коротких інформаційних довідок у мережі Інтернет. Що стосується іноземних джерел, то у США існує багато практичних посібників щодо започаткування бізнесу у сфері «Mystery Shopping». Юдіс Реппольд [3] надає конкретні практичні методичні поради щодо підбору «таємних покупців», складання анкет та здійснення перевірок, однак він не враховує структурування функції якості.

Так чи інакше, існує певна проблема відсутності ґрунтовного вивчення методики «Mystery Shopping» як такої, що має конкретні практичні результати поліпшення якості обслуговування.

Аналіз останніх публікацій [4–7] показав, що для визначення рівня обслуговування на ринках послуг аналітики найчастіше використовують такі методики: традиційні інспекції та рейди; опитування покупців; атестацію персоналу; методику «Таємний покупець».

Традиційні інспекції та рейди прості і недорогі в організації, але дають завищені результати, оскільки про них відомо завчасно. Опитування покупців дорогі, а також покупці, не знаючи стандартів обслуговування, можуть не помітити всіх недоліків. Атестація персоналу дозволяє об'єктивно оцінити теоретичні знання продавців, однак не дозволяє оцінити їх на практиці. «Таємний покупець» являє собою цілу методику, яка на основі емпіричних спостережень дає анонімну оцінку та здійснює моніторинг якості та безпеки обслуговування клієнтів, послуг, продукції.

За результатом огляду літератури було зроблено висновок, що методика «Таємний покупець» має низку проблем, таких як: низький рівень зацікавленості підприємств у додатковому вкладанні грошей в поліпшення якості та безпеки послуг, відсутність кваліфікованих спеціалістів у сфері надання послуг «Таємний покупець», відсутність законодавчої бази, яка регламентує діяльність таємних покупців.

Ця методика дозволяє підвищити мотивованість персоналу, оцінити адекватність і повноту прийняття у компанії стандарту обслуговування споживачів, виявити недоліки в бізнес-процесах [8, 9]. Однак вона потребує доопрацювання в частині визначення пріоритетності етапів її виконання.

На кафедрі «Метрології, стандартизації на сертифікації» Київського національного університету технологій та дизайну протягом останніх 5 років проводиться дослідження в сфері визначення принципів і підходів до оцінки

якості та безпеки туристичних послуг [10] і розроблення заходів по їх удосконаленню.

Мета та задачі дослідження. *Метою проведених досліджень є розроблення методики оцінки якості та безпеки туристичних послуг на основі застосування структурованої функції якості, що дозволяє оцінити ефективність роботи персоналу та визначити його вплив, а також можливість отримувати споживачеві якісні послуги і тим самим підвищувати конкурентність туристичних послуг.*

Для цього в ході дослідження були вирішені такі завдання:

1. визначено пріоритетність критеріїв, що мають вплив на якість та безпеку туристичних послуг;

2. розроблено алгоритм для удосконалення методики «Таємний покупець».

Принципи і підходи до удосконалення методики. При розробці методики була взята за основу методологія «Таємний покупець». Однак в ході дослідження було виявлено, що послідовність етапів, яка наведена в методиці не дозволяє виявити вплив конкретного етапу на кінцевий туристичний продукт або на користувача зокрема. Аналіз літератури [11] показав, що для удосконалення методики найбільш придатною до застосування є структурування функції якості. Використання даної функції дозволяє краще зрозуміти вимоги споживачів при проектуванні, розробці і вдосконаленні продукції, послуг і процесів з застосуванням все більшої орієнтації на встановлені і передбачувані потреби споживачів.

У ході дослідження виявлено групу критеріїв, які мають значний вплив на якість та безпеку туристичних послуг з погляду вимог споживача.

Використовуючи метод анкетування, який дозволяє за короткий термін отримати максимально можливий обсяг інформації про який-небудь продукт, дізнатися думки суспільства, головною перевагою методу являється не потрібність залучення великої кількості осіб, які його здійснюють, було створено анкету. Проведені нами дослідження (анкетування) на групі споживачів туристичних послуг дозволили виявити критерії які найбільш важливі для споживачів туристичних послуг. Результати цих досліджень зведені в табл. 1.

Для ефективного використання методики нами був запропонований наступний алгоритм, який наведений на рис. 1.

З табл. 1 та алгоритму видно, що значний вплив на якість туристичних послуг мають такі критерії: якість спілкування менеджера, уміння правильно задавати питання і слухати, компетентно розповідати про туристичний продукт, правильно працювати із запереченнями клієнта, пропонувати страхування, попереджати про політичну ситуацію в країні. Всі ці критерії є складовою компетентності персоналу, який відіграє важливу роль в процесі просування туристичних послуг на внутрішній та зовнішній ринки. При цьому конкурентоспроможність туристичного продукту визначається компетентністю персоналу, тобто передбачає наявність професійних знань та умінь їх реалізовувати, здійснювати комплексний підхід до виконання своїх обов'язків, умінь діяти відповідно до ситуації, передбачає наявність комунікаційних та інтеграційних здібностей, умінь підтримувати відносини, впливати, домагатися свого.

Таблиця 1 – Вплив головної групи критеріїв на якість та безпеку туристичних послуг

№	Група критеріїв	Вплив критерія на якість та безпеку туристичної послуги
1.	Організація приміщення туристичного підприємства й атмосфера в ньому на момент візиту клієнта	Не значний
2.	Характеристика зовнішнього вигляду менеджера	Не значний
3.	Комунікативні уміння персоналу туристичного підприємства	середній
4.	Якість спілкування менеджера з споживачем	значний
5.	Уміння правильно задавати питання і слухати з метою з'ясування явних і прихованих потреб	значний
6.	Уміння компетентно розповісти про туристичний продукт і зацікавити клієнта	значний
7.	Уміння правильно працювати із запереченнями клієнта і долати їх	значний
8.	Пропонування різних видів страхування, задля безпеки клієнта	значний
9.	Попередження про політичну ситуацію в країні в яку збирається відправитись клієнт	значний
10.	Уміння завершити бесіду	середній

Таким чином, персонал в індустрії туризму є найважливішою складовою частиною кінцевого продукту, одним з основних ресурсів конкурентних переваг організації, і отже, якість обслуговування в туристичних організаціях залежить від майстерності і свідомості обслуговуючих працівників.

В свою чергу підвищення компетентності персоналу передбачає ефективне застосування різних важелів, різних форм і методів впливу на нього, таких як: проведення наукових семінарів, використання передових світових методів і форм роботи, проведення конкурсів на кращого працівника з преміальним заохочуванням. Однак ці важелі потребують безперервного моніторингу, контролю, що вимагає значних фінансових витрат.

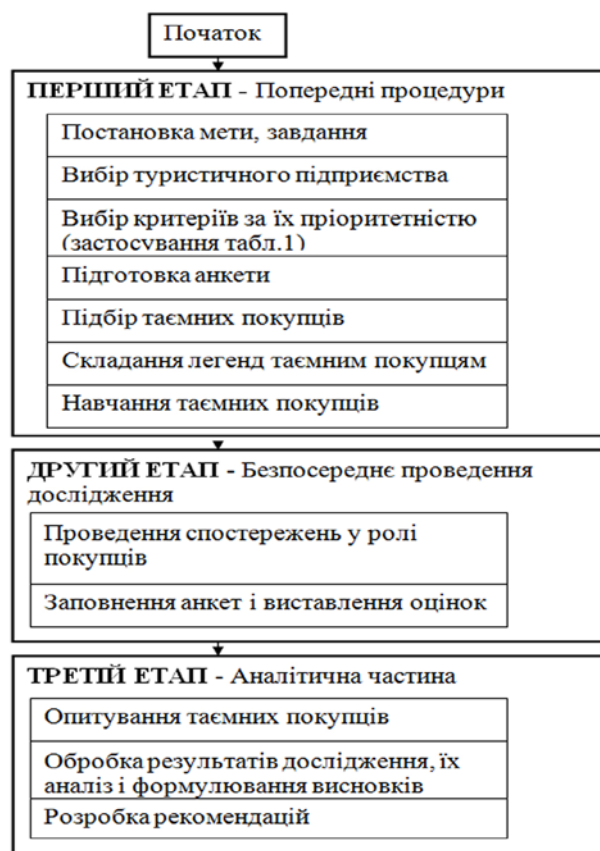


Рис. 1 – Алгоритм застосування методики «Таємний покупець»

Експериментальна перевірка алгоритму показала, що наведені вище критерії в значній мірі впливають на якість та безпеку туристичних послуг.

Таким чином, одним із перспективних шляхів підвищення якості та безпеки туристичних послуг, як доводить міжнародний досвід, є впровадження систем управління якістю побудованих на принципах TQM [12]. Створення комплексної системи (спрямованої на постійне покращання якості роботи персоналу) допоможе зменшити внутрішні витрати і моментально реагувати на потреби споживачів туристичних послуг.

Висновки.

1. Аналіз літературних джерел показав, що методика «Таємний покупець» недосконала і потребує доопрацювання в частині визначення пріоритетності етапів, наприклад, шляхом доповнення її методом структурування функції якості.

2. Розроблено алгоритм, який базується на визначенні критеріїв компетентності персоналу і доведено, що компетентність є головним чинником підвищення якості та конкурентоспроможності туристичних послуг. Даний алгоритм був експериментально перевірений і довів свою дієздатність.

3. Запропоновано для оцінювання компетентності персоналу впроваджувати системи управління якістю, побудовані на принципах TQM на туристичних підприємствах.

Список літератури: 1. Сахно, Є. Ю. Менеджмент сервісу : теорія та практика [Текст] : Навч. посіб / Є. Ю. Сахно, М. С. Дорош, А. В. Ребенок. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 328 с. 2. Про туризм [Електронний ресурс] : Закон України від 04.06.2011 р. № 324 / 95 – ВР. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>. – Назва з екрану. 3. Rappold, J. Starting Your Mystery Shopping Business: business resources publications [Text] / J. Rappold. – Austin, Texas, 2002. – 271 p. 4. Цысарь, А. Res-Q-Index возвращается [Текст] / А. Цысарь // Журн. новый маркетинг. – 2005. – № 7. – С. 92–97. 5. Голубков, Е. П. Современные тенденции развития маркетинга [Текст] / Е. П. Голубков // Журн. Маркетинг в России и за рубежом. – 2004. – № 1. – С. 3–18. 6. Занесоцкий, А. С. Стратегический маркетинг в туризме: Теория и практика [Текст] / А. С. Занесоцкий. – СПб.: СПбГУП, 2003. – 352 с. 7. Цысарь, А. Internet - технологии в «Mystery Shopping» [Текст] / А. Цысарь // Журн. управление персоналом. Отдел кадров. – 2005. – № 5. – С. 50–53. 8. Кануста, И. Поддерживать законные ожидания потребителей [Текст] / И. Кануста // Журн. Маркетинг в России и за рубежом. – 2003. – № 9. – С. 71–77. 9. Энциклопедия маркетинга [Электронный ресурс] / Интернет-проект «Энциклопедия маркетинга». – Режим доступу: http://www.marketing.spb.ru/libmm/sales/serv_quality.htm. – 2014. – Загл. с экрана. 10. Оцінювання якості туристичних послуг [Текст] : матеріали 13-й междунар. науч.-практ. конф. / Ялта-Киев: АТМ України, 2013. – 208 с. 11. Akae, Y. Quality Function Deployment on Total Quality Management and Future Subject. (QFD and TQM Series No. 1 (Japanese) [Text] / Y. Akae // Quality Control. – 1996. – Vol. 47, № 8. – P. 55–64. 12. Ланудус, В. А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях [Текст] / В. А. Ланудус. – М. : Типография Новости, 2000. – 432 с.

Bibliography (transliterated): 1. Sahnno, E. Ju., Dorosh, M. S., Rebenok, A. V. (2010). Menedzhment servisu : teoriya ta praktika. Centr uchbovoi literaturi, 328. 2. Pro turizm. Zakon Ukraini vid 04.06.2011 № 324 / 95. VR (2011). Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>. 3. Rappold, J. (2002). Starting Your Mystery Shopping Business: business resources publications. Austin, Texas, 271. 4. Cysar', A. (2005). Res-Q-Index vozvrashhaetsja. Zhurn. novyj marketing, 7, 92–97. 5. Golubkov, E. P. (2004). Sovremennye tendencii razvitija marketinga. Zhurn. Marketing v Rossii i za rubezhom, 1, 3–18. 6. Zapesockij, A. S. (2003). Strategicheskij marketing v turizme:

Теорія і практика. SPb.: SPbGUP, 352.7. Cysar', A. (2005). Internet–tehnologii v «Mystery Shopping». Zhurn. upravlenie personalom. Otdel kadrov, 5, 50–53. 8. Kapusta, I. (2003). Podderzhivat' zakonnye ozhidaniya potrebitel'ej. Zhurn. Marketing v Rossii i za rubezhom, 9, 71–77. 9. Jenciklopedija marketinga. Internet-proekt «Jenciklopedija marketinga» (2014). Available at: http://www.marketing.spb.ru/libmm/sales/serv_quality.htm. 10. Ocinjuvannja jakosti turistichnih poslug (2013). Jalta-Kiev: ATM Ukrainy, 208. 11. Akaio, Y. (1996). Quality Function Deployment on Total Quality Management and Future Subject. (QFD and TQM Series No. 1 (Japanese). Quality Control, Vol. 47, № 8, 55–64. 12. Lapidus, V. A. (2000). Vseobshhee kachestvo (TQM) v rossijskih kompanijah. Tipografija Novosti, 432.

Надійшла (received) 28.05.2014

УДК 665.9

Р. А. ГАМЗАЕВ, канд. техн. наук, ассистент, НТУ «ХПИ»;
Н. В. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
И. О. МАРТИНКУС, аспирантка, НТУ «ХПИ»;

МЕТА-МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТРАССИРОВКИ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Рассмотрены особенности управления требованиями к программному обеспечению (ПО) и обоснована актуальность проблемы разработки методологических основ для построения мета-моделей процессов трассировки требований. Проанализированы некоторые существующие концептуальные модели трассировки требований и на основе их обобщения предложена унифицированная мета-модель процессу трассировки требований с использованием фреймовых спецификаций. Приведен пример возможности технологической реализации этой модели в гибком процессе разработки ПО по методологии Scrum.

Ключевые слова: программное обеспечение, трассировка требований, мета-модель, фрейм, гибкая методология Scrum.

Введение. Решение проблемы повышения эффективности процессов инженерии требований является одним из основных факторов успеха при использовании любой методологии разработки ПО: начиная с классических моделей жизненного цикла (ЖЦ), таких как каскадная и спиралевидная и заканчивая получившими распространение в настоящее время новыми подходами к разработке, такими как, например, RUP (Rational Unified Process) или XP (eXtreme Programming). Это связано с тем, что как показывает опыт выполнения реальных проектов по созданию сложных программных систем, именно ошибки на этапе анализа и моделирования требований становятся наиболее критичными с точки зрения их влияния на сроки и затраты всего проекта в целом и, с другой стороны, именно сбор и анализ требований является наиболее трудоемким и слабо формализуемым этапом в ЖЦ разработки ПО [1]. Существующие методы инженерии требований, такие как проведение интервью с различными участниками проекта, составление вербальных описаний требований и т.д., позволяют либо весьма приблизительно и субъективно вести обработку соответствующей информации, либо предполагают достаточно специфические и абстрактные подходы, сложные для понимания конечных пользователей и

© Р. А. ГАМЗАЕВ, Н. В. ТКАЧУК, И. О. МАРТИНКУС, 2014

заказчиков ПО, которые должны быть активными участниками процессов сбора и анализа требований. Поэтому весьма актуальной является проблема поиска рационального методологического компромисса в вопросах моделирования и управления требованиями, который должен дать возможность представить эти механизмы в достаточно структурированной и в тоже время наглядной, визуальной форме, позволяющей получать количественные оценки состояния определенного требования как в процессе разработки ПО.

Важным компонентом такого механизма управления требованиями является их трассировка (requirements traceability), которая представляет собой, по существу, процесс взаимного отображения множества требований $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ в

множество проектных файлов $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, под которыми следует понимать любые артефакты, которые создаются разработчиками в ходе реализации целевой ПС: это могут быть фрагменты исходного кода, структуры хранения данных, дизайн интерфейса пользователя, файлы проектной документации и т.п. (рис. 1).

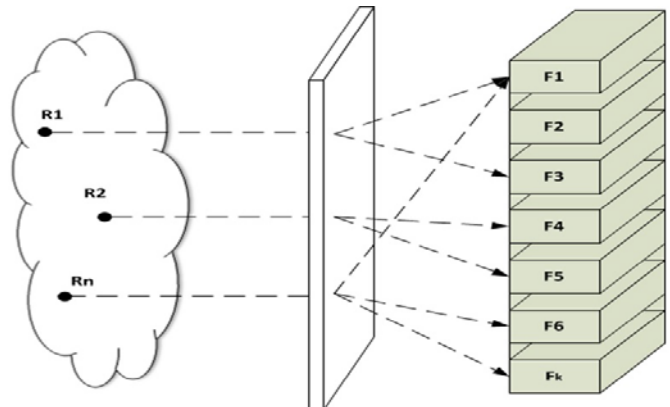


Рис. 1 – Концептуальная схема механизма трассировки требований

Существует несколько более специальных определений понятия трассировки требований, например, в стандарте IEEE [1] говорится о том, что "...это способность программного обеспечения устанавливать связь между требованиями и их реализацией, с учетом особенностей разработки и области выполнения", а в работе известного украинского специалиста в области программной инженерии проф. Е.М. Лаврищевой [2] указано на то, что "... трасування вимог, тобто розвиток і обробка вимог із простежуванням ідентифікованих зв'язків, що повинні бути зафіксовані за двома напрямками – від потреб до робочих продуктів і навпаки...". В [3] предложена классификация основных существующих способов моделирования процессов трассировки требований, а именно: матрицы трассировки (traceability matrix), ассоциативные правила (association rule), паттерны трассировки (traceability pattern), и приведены некоторые соображения относительно их преимуществ и недостатков. Они представляют собой, по сути, уже технологическую реализацию различных процедур трассировки требований, и для анализа и поиска путей повышения их эффективности необходимо исследование их механизмов на более высоком, концептуальном уровне рассмотрения этих процессов.

Поэтому целью данной статьи является разработка методологического подхода и построение унифицированной мета-модели процессов трассировки требований, позволяющей создавать на ее основе новые, более эффективные модельно-технологические инструменты для управления этими процессами, которые могли бы адаптироваться с учетом особенностей конкретного проекта по разработке ПО, а именно: уровня семантической сложности предметной

области, особенностей выбранной методологии управления проектом, используемых программных средств и т. п.

Анализ существующих подходов к моделированию процессов трассировки требований. Одна из первых моделей процессов трассировки требований (МПТТ) была предложена в [4], ее схема показана на рис. 2.

Анализ этой МПТТ позволяет сделать вывод о том, что основными компонентами в концептуальной схеме трассировки требований выступают такие сущности как: “Лицо-владелец требований”, “Объект” и “Источник”, которые связаны такими базовыми отношениями как: “выполняет роль”, “трассирует”, “управляет” и “документирует” (documents). Авторы этой МПТТ называют ее эталонной (reference) моделью трассировки, что предполагает возможность использования ее концептуальных компонентов (сущностей и отношения между ними) могут быть использованы в других МПТТ, построенных на ее основе.

К категории концептуальных МПТТ следует отнести и итерационную схему процесса трассировки требований в гибкой (agile-) разработке ПО из [5], которая приведена на рис. 3.



Рис. 2 – Эталонная МПТТ из работы [4]

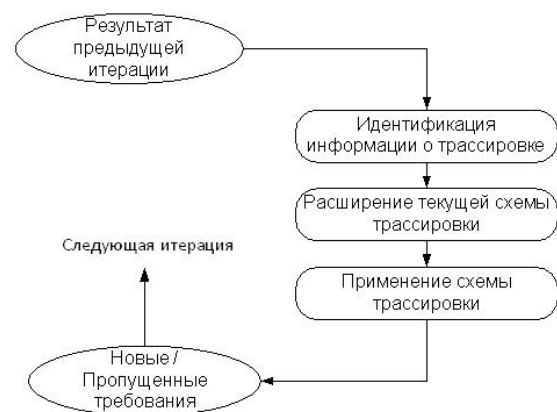


Рис. 3 – Итерационная МПТТ из [5]

Из нее следует, что трассировка требований выполняется в некотором циклическом процессе (блок «Следующая итерация») с контуром обратной связи (блок «Результат предыдущей итерации»), причем соответствующие действия по идентификации данных о трассировке (блок «Идентификация информации о трассировке») приводят к расширению текущей схемы трассировки (блок «Расширение текущей схемы трассировки»), и затем, в результате ее применения (блок «Применение схемы трассировки»), в процесс трассировки вовлекаются новые / либо ранее не рассмотренные требования (блок «Новые/Пропущенные требования»).

Непосредственное взаимовлияние процессов трассировки и технологий обеспечения качества программного обеспечения, в частности, подхода SPICE (Software Process Improvement Capability dEtermination), отражает МПТТ, предложенная в работе [6], концептуальная схема которой показана на рис. 4.

Основное преимущество этой модели, по мнению ее авторов, заключается в том, что она интегрирована в многоуровневую модель всего процесса разработки ПО по методологии SPICE, в соответствии с которой, на первом этапе на основе спецификаций пользователей (*ENG.1:Требования пользователей*) вначале

выполняется этап разработки общесистемных спецификаций (*ENG.2: Спецификации системных требований*), затем – этап высокоуровневого (архитектурного) проектирования всей целевой системы (*ENG.3: Системный дизайн*), далее, с учетом его результатов, происходит переход к этапу разработки спецификаций к ПО (*ENG.: Требования к ПО*), и только после этого выполняется этап непосредственного проектирования ПО (*ENG.3: Дизайн ПО*).

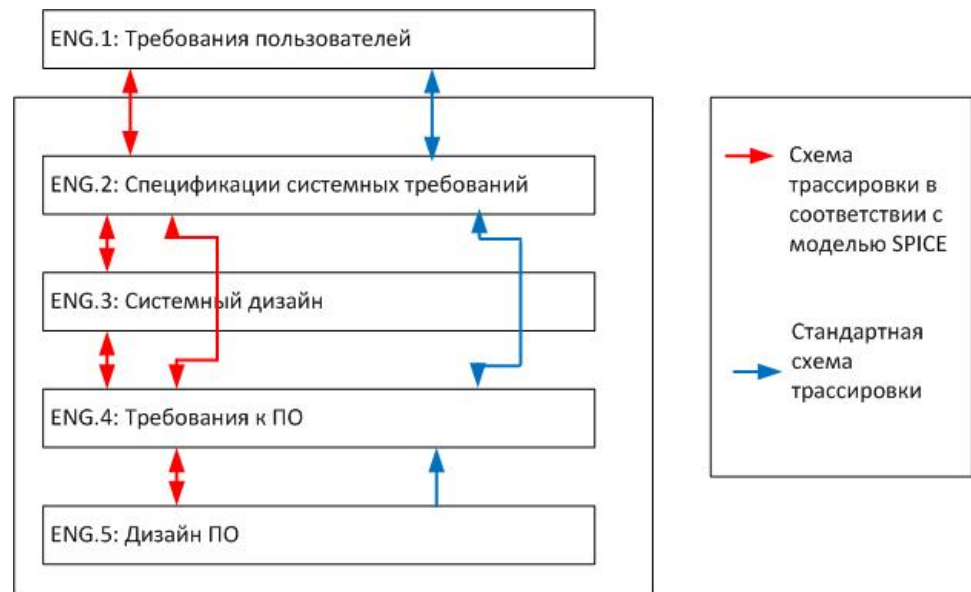


Рис. 4 – Интегрированная МПТТ для процесса SPICE [6]

Анализируя методологические принципы разработки концептуальных МПТТ, следует также упомянуть о том, что во многих работах по этой проблематике подчеркивается, что для повышения эффективности процессов трассировки необходимо применять различные интеллектуальные методы обработки первичной текстовой информации о требованиях. Так, например, в работе [7] предлагается многоуровневая схема трассировки первичной текстовой информации о требованиях (multi-level textual traceability) с применением их модельно-управляемой обработки (model-driven engineering) и методов информационного поиска (information retrieval). Важность использования в МПТТ именно методов обработки слабоструктурированной текстовой информации подчеркивается также в работах [8, 9], в которых рассмотрены вопросы трассировки текстовых спецификаций и проектных артефактов с применением, соответственно, специального аннотированного словаря событий (annotated phenomena vocabulary) и метода латентно-семантического индексирования (latent semantic indexing).

Мета-модель процесса трассировки требований на основе фреймовых спецификаций. Таким образом, в результате проведенного выше краткого анализа некоторых методологических аспектов построения различных МПТТ, можно сделать следующие выводы:

целью процесса трассировки, и соответственно, целью разработки и применения МПТТ, является установление как можно более точной (полной) семантической связи между множеством требований к ПО и множеством тех проектных артефактов (файлов), которые создаются в процессе разработки ПО с целью реализации этих требований;

процесс трассировки требований, на концептуальном уровне его моделирования, представляет собой некоторую траекторию T в многомерном

информационном пространстве, координаты которого определяются как подмножество декартова произведения $T \subset R \times F \times S$, где R - это множество собственно требований к ПО, которые должны быть реализованы в конечной программном продукте; F - множество проектных артефактов (файлов), которые создаются для реализации этих требований; S - множество проектных итераций, которые выполняются в ходе разработки данной ПС, что позволяет рассматривать процесс трассировки динамически, с учетом фактора времени);

процесс трассировки должен выполняться итерационно, в некотором цикле, с учетом наличия обратной связи, которая позволяет на каждой последующей итерации из множества S уточнять семантические связи между элементами множеств R и F ;

для непосредственной реализации механизма отображения множества R в множество F могут применяться такие средства как матрицы трассировки, ассоциативные правила и паттерны трассировки (см. выше);

поскольку изначально требования из множества R , как правило, представлены в виде текстовых описаний на естественном языке, то для повышения эффективности всего процесса трассировки в целом, необходимо предварительно применять определенные логико-лингвистические методы обработки этих текстов с целью устранения в них избыточности информации, разрешения возможных логических противоречий в описании требуемых свойств конечного программного продукта и т.п.

На основе этого качественного анализа методологических аспектов построения различных МПТТ можно предложить формализованное представление для целого класса таких моделей, для чего целесообразно использовать понятие фрейма (frame) [10], поскольку именно фреймовые спецификации могут быть эффективно использованы для представления сложных структурированных данных (знаний), соответствующих определенным стереотипным ситуациям, в том числе и при моделировании различных информационных процессов и систем.

В соответствии с известным представлением фрейма как структурированной совокупности слотов, каждый из которых имеет свой допустимый набор значений, а именно:

```
Frame: "Name" =  
{  
  Slot_1: "Name" = (List of Values...),  
  Slot_2: "Name" = (List of Values...),  
  .....  
  .....  
  Slot_N: "Name" = (List of Values...)  
}
```

представим фрейм "Модель процесса трассировки требований (МПТТ)" в следующем виде (рис. 5)

Очевидно, что используя общее определение фрейма и его интерпретацию в терминах возможных значений для каждого из соответствующих слотов, показанных на рис. 5, можно вполне корректно определить, как каждую из ранее

рассмотренных частных моделей трассировки (рис. 2–4), так и сформировать некоторый новый тип такой модели, задавая определенную конфигурацию конкретных параметров отдельных слотов Slot_1 - Slot_4.

Frame: *MPTT*

Slot_1: «Структура информационного пространства трассировки P » = («множество требований R » x «множество файлов F » x «множество проектных сессий S » x ...)
Slot_2: «Способ построения траектории трассировки в пространстве P » = («прямая трассировка», «обратная трассировка», «итерационный процесс»)...
Slot_3: «Механизм отображения связей между компонентами» = («матрица трассировки», «ассоциативные правила», «паттерны трассировки»...)
Slot_4: «Метод подготовки исходных данных о требованиях» = («текстовые спецификации», «графические схемы», «логико-лингвистические методы»

Рис. 5 – Фреймовая спецификация для МПТТ

Пример технологической реализации мета-модели трассировки требований в гибком процессе разработки ПО по методологии Scrum. В работе [11], на основе рассмотренной выше макро-модели МПТТ, разработана алгоритмическая модель процесса построения адаптивной матрицы трассировки и соответствующая информационная технология, обеспечивающая возможность реализации сфокусированного интерфейса разработчика, которые могут быть применены в схеме

автоматизированного управления гибкой разработкой ПО с применением методологии Scrum, которая представлена на рис. 6. В ней, дополнительно и в контексте двух уже существующих и хорошо апробированных



Рис. 6 – Схема автоматизированного управления Scrum-процессом разработки ПО

на практике организационных циклов выполнения типового Scrum -проекта:

- цикл построения общего каталога требований программного продукта (Product Backlog - PB) и его дальнейшей обработки путем формирования каталога требований для одной проектной итерации или одного спринта (sprint) в терминологии Scrum (Sprint Backlog - SB),

- цикл выполнения последовательности ежедневных задач, которые необходимы в рамках одной проектной итерации.

Введено 2 новых технологических контура управления с обратной связью, а именно [11]:

– контур управления процедурами приоритизации и оценки качества требований (requirements priority and quality estimation), что делает формирование так называемого динамического каталога требований РВ;

– контур управления трассировкой требований в процессе непосредственного программирования (выполнение задач проекта), с целью обеспечения эффекта сфокусированного интерфейса разработчика ПО с применением предложенной адаптивной матрицы трассировки ADTM.

Результатом функционирования этой схемы является программный продукт, который должен соответствовать определенным значение метрик качества ПО (рис. 6). Предложенная схема управления выполнением Scrum - проекта позволяет применять знания - ориентированные методы разработки ПО, то есть такие, что накапливают и используют в дальнейшем для принятия проектных решений количественные оценки о состоянии выполнения отдельных этапов проекта и качества полученных при этом результатов. Тестирование этого подхода, полное описание методики проведения которого и полученные при этом результаты приведены в [11], подтвердило его эффективность

Выводы и направления дальнейших исследований. В данной научной статье предложена знание-ориентированная мета-модель процесса трассировки требований, для построения которой использован механизм составления соответствующих фреймовых спецификаций и приведен пример возможности технологической реализации этой модели в гибком процессе разработки ПО по методологии Scrum. В дальнейшем планируется развить данный подход путем дополнения этой мета-модели процесса трассировки требований такими логическими компонентами и технологическими механизмами их реализации, которые в настоящее время предлагаются в новой концепции разработки сложных программных систем, получившей название предметно-ориентированного проектирования или проектирования, управляемого доменными моделями (domain-driven development - DDD) [12].

Список литературы: 1. *Соммервил, И.* Инженерия программного обеспечения [Текст] / *И. Соммервил* ; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 624 с. 2. *Лаврищева, Е.М.* Методы и средства инженерии программного обеспечения [Текст] / *Е. М. Лаврищева, В. А. Петрухин* – Москва: МФТИ, 2007. – 415 с. 3. *Tkachuk M. V.* Models and Tools for Effectiveness Increasing of Requirements Traceability in Agile Software Development [Текст] / *Tkachuk M. V., R. O. Gamzayev, H. S. Mayr, V. O. Bolshutkin* – Проблемы программирования. – К.: НАН України. – 2012. – № 2–3 (спец. выпуск). – С.252 – 260. 4. *Ramesh B.* Toward Reference Model for Requirements Traceability [Текст] / *B. Ramesh, M. Jarke.* – IEEE Software Engineering – 2001. – #27(1) – P.58–93. 5. *Taromirad M.* Agile Requirements Traceability Using Domain-Specific Modelling Languages [Текст] / *M. Taromirad, R. Paige* – Extreme Modeling Workshop – 2012. – P. 45-50. 6. *Turban B.* An Integrated Decision Model For Efficient Requirement Traceability In SPICE Compliant Development [Текст] / *B. Turban* – Intelligent Solutions in Embedded Systems – 2007. – P. 273 – 286. 7. *Sannier N.* Towards Multi-level Textual Requirements Traceability Using Model-Driven Engineering and Information Retrieval [Текст] / *N. Sannier, B Baudry* – Proceeding of 2nd International Workshop on Model-Driven Requirements Engineering – 2012. – P. 29 – 38. 8. *Ladenberger L.* Requirements Traceability between Textual Requirements and Formal Models Using ProR [Электронный ресурс] / *L. Ladenberger, M. Jastram.* – Режим доступа к статье: http://www.stups.uni-duesseldorf.de/mediawiki/images/f/f7/Pub-LadenbergerJastram_iFMABZ2012.pdf. 9. *Lormans M.* Can LSI help Reconstructing Requirements Traceability in Design and Test? [Текст] / *M. Lormans,*

A. van Deursen – Proceedings of the 10th European Conference Software Maintenance and Reengineering –2006 –Р. 46– 56. **10.** *Минский М.* Фреймы для представления знаний [Текст] / Минский М.; пер. с англ. – М.: Энергия, 1978. – 151 с. **11.** *Гамзаев Р.О.* Модель та інформаційна технологія побудови адаптивної матриці трасування вимог в гнучких процесах розробки програмного забезпечення [Текст] / *Р.О.Гамзаев, М.В.Ткачук* – Вісник НТУ «ХПИ». – Харків, 2013 – № 2 (976). – С. 49 – 60. **12** *Эванс, Э.* Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем. [Текст] / *Э. Эванс* – Пер. с англ. – М. «ООО И.Д. Вильямс», 2011.

Bibliography (transliterated): **1.** *Sommerville, I.* (2002). Software Engineering; 6–th edition. Moscow, Williams, 624. **2.** *Lavrishcheva, E. M., Petruhin, V. A.* (2007). Methods and tools for software engineering. Moscow: MIPT, 415. **3.** *Tkachuk M. V., Gamzayev R.O., Mayr H.C., Bolshutkin V.O.* (2012). Models and Tools for Effectiveness Increasing of Requirements Traceability in Agile Software Development. Programming problems. K.: National Academy of Sciences of Ukraine, № 2-3 (spec. issue), P.252 – 260. **4.** *Ramesh B., Jarke M.* (2001). Toward Reference Model for Requirements Traceability. IEEE Software Engineering , 27(1) , P.58–93. **5.** *Taromirad M., Paige R.* (2012). Agile Requirements Traceability Using Domain-Specific Modelling Languages. Extreme Modeling Workshop,P. 45-50. **6.** *Turban B.* (2007). An Integrated Decision Model For Efficient Requirement Traceability In SPICE Compliant Development. Intelligent Solutions in Embedded Systems, P. 273 – 286. **7.** *Sannier N., Baudry B.* (2012). Towards Multi-level Textual Requirements Traceability Using Model-Driven Engineering and Information Retrieval. Proceeding of 2nd International Workshop on Model-Driven Requirements Engineering , P. 29 – 38. **8.** *Ladenberger L. , Jastram M.* Requirements Traceability between Textual Requirements and Formal Models Using ProR [Электронный ресурс] /–http://www.stups.uni-duesseldorf.de/mediawiki/images/f/f7/Pub-LadenbergerJastram_iFMABZ2012.pdf. **9.** *Lormans M., A. van Deursen* (2006). Can LSI help Reconstructing Requirements Traceability in Design and Test?.Proceedings of the 10th European Conference Software Maintenance and Reengineering, P. 46– 56. **10.** *Minsky M.* (1978). Framework for Representing Knowledge .151. **11.** *Gamzaev R.O., Tkachuk M.V.* (2013). Models and information technology of adaptive matrix trace requirements in flexible software development processes. Journal of NTU "KPI", Kharkiv, № 2 (976), P.49 - 60. **12.** *Evans E.* (2004) Domain-Driven Design - Tackling Complexity in the Heart of Software, Addison-Wesley,P. 529.

Поступила (received) 28.05.2014

УДК 658.512

Л. И. НЕФЁДОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ХНАДУ, Харьков;
Ю. А. ПЕТРЕНКО, д-р техн. наук, доц., зав. каф., ХНАДУ, Харьков;
А. С. КОНОНЫХИН, аспирант, ХНАДУ, Харьков

МОДЕЛИ ВЫБОРА КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОФИСА В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье разработана модель выбора кадрового обеспечения, которая позволяет сформировать персонал офиса с учетом затратных критериев и квалификационных, образовательных и психологических качеств претендентов заданных размыто.

Ключевые слова: кадровое обеспечение, квалификационные показатели, психологические характеристики, бизнес-процесс, нечеткая информация.

Введение. На сегодняшний день важным аспектом организации работы в офисе является формирование его персонала и его взаимодействие. Очень важно,

© Л. И. НЕФЁДОВ, Ю. А. ПЕТРЕНКО, А. С. КОНОНЫХИН, 2014

чтобы персонал удовлетворял техническим, функциональным требованиям и обеспечивал принятие решений и управление всеми бизнес-процессами.

В качестве критериев оценки претендентов на вакантные должности могут быть выбраны следующие:

- наличие необходимого образования;
- достаточный уровень квалификации;
- необходимые психологические показатели;
- затратные критерии.

Анализ публикаций. Сложность и комплексность задач решаемых в офисе рождает потребность в высокой технической компетентности, владении большими объемами экономических, правовых, управленческих знаний кадров, поэтому создание профессиональной команды — необходимое условие эффективной работы над задачами [1].

Претендент на вакантную должность должен обладать определенными навыками работы с программным и техническим обеспечением, необходимыми для реализации задач бизнес-процессов, иначе его обучение потребует дополнительных затрат [2].

Для оценки квалификации претендента используется собеседование, чтобы снизить эффект субъективности используется тестирование претендента для получения необходимых данных для экспертного оценивания [3].

Для оценки интеллектуальных, коммуникативных, эмоциональных, волевых качеств претендента составляется психологический профиль личности.

При этом психологический профиль профессии должен максимально соответствовать психологическому профилю личности. Это означает, что предложенная профессия занимает одно из самых высоких мест на шкале профессиональных интересов личности, а способности, отмеченные высоким процентным рангом в психологическом профиле личности, относятся к тем психофизиологическим или психологическим свойствам, к которым эта профессия ставит относительно высокие требования [4].

Для этого проводится диагностика уровня выраженности профессионально важных свойств. Также необходимо оценить и спрогнозировать динамику формирования и развития индивидуальных профессионально ориентированных динамических структур личности, которые обеспечат в будущем успешность деятельности [4].

Для получения вышеописанных характеристик используются различные психологические тесты, результаты которых позволяют экспертам оценить соответствие психологических показателей вакантной должности [5].

В связи с этим возникает необходимость в выборе кадрового обеспечения в соответствии с предпочтениями и требованиями конкретного бизнес-процесса проекта.

Анализ публикаций [2-5] показал, что критерии для принятия решения по выбору кадрового обеспечения носят нечеткий характер [6,7] и комплексно не учитывают специальность и направление деятельности претендента в связи с чем возникает задача разработки модели выбора кадрового обеспечения офиса в условиях нечеткой информации.

Цель статьи и постановка задачи. Цель статьи повышение эффективности принятия решений при формировании штата сотрудников за счет разработки моделей выбора кадрового обеспечения офиса в условиях нечеткой информации.

Пусть известно [8, 9]:

- множество вакансий $V = \{V^\theta\}$, $\theta = \overline{1, \theta'}$, θ' - количество вакансий для выполнения бизнес-процессов включающих в себя бизнес-процедуры, бизнес-операции;
- профессионально-образовательные показатели;
- квалификационные качества;
- психологические показатели, включающие интеллектуальные эмоционально-волевые, коммуникативные качества;
- затратные показатели;
- множество претендентов $K^\theta = \{K_{su}^\theta\}$, $s = \overline{1, s'}$, $u = \overline{1, u'}$, $\theta = \overline{1, \theta'}$, каждой специальности s каждого направления u на замещение каждой вакансии θ , где s' - количество претендентов данной специальности, u' - количество направлений данной специальности.

Из множества претендентов $K^\theta = \{K_{su}^\theta\}$ на замещение θ -й должности в офисе, необходимо выбрать одну кандидатуру, которая экстремизирует заданные критерии и удовлетворяет заданным требованиям для θ -й вакансии с заданным качеством и с заданной заработной платой.

Модели выбора кадрового обеспечения офиса в условиях нечеткой информации. Для решения задачи выбора кадрового обеспечения в условиях нечеткой информации, когда необходимо претендентов распределить по имеющимся вакансиям (с учетом, что количество претендентов и вакансий одинаково) предлагается использовать свойства бинарных нечетких отношений.

Пусть Q и R конечные или бесконечные бинарные нечеткие отношения. Пусть при этом нечеткое отношение [6, 7]

$$Q = \{ \langle x_i, x_j \rangle, \mu_Q(x_i, x_j) \}, \quad (1)$$

задано на декартовом произведении универсумов $X_1 \times X_2$, где $\mu_Q(x_i, x_j)$ - функция принадлежности бинарного нечеткого отношения, которая определяется как отображение $\mu_Q: X_1 \times X_2 \rightarrow [0;1]$, а $\langle x_i, x_j \rangle$ - кортеж из двух элементов, при этом $x_1 \in X_1$, $x_2 \in X_2$.

Нечеткое отношение

$$R = \{ \langle x_j, x_k \rangle, \mu_R(x_j, x_k) \}, \quad (2)$$

на декартовом произведении универсумов $X_2 \times X_3$, где $\mu_R(x_j, x_k)$ - функция принадлежности бинарного нечеткого отношения, которая определяется как отображение $\mu_R: X_2 \times X_3 \rightarrow [0;1]$, а $\langle x_j, x_k \rangle$ - кортеж из двух элементов, при этом $x_2 \in X_2$, $x_3 \in X_3$.

Нечеткое бинарное отношение, заданное на декартовом произведении $X_1 \times X_3$ и обозначаемое через $Q \otimes R$, называется композицией бинарных

нечетких отношений Q и R , а его функция принадлежности определяется выражением [6, 7]

$$\mu_{Q \otimes R}(\langle x_i, x_k \rangle) = \max_{x_j \in X_1} \{ \min \{ \mu_Q(\langle x_i, x_j \rangle), \mu_R(\langle x_j, x_k \rangle) \} \},$$

$$\langle x_i, x_k \rangle \in X_1 \times X_3. \quad (3)$$

Определенную таким образом композицию бинарных нечетких отношений называют иногда (max - min)-композицией или максиминной сверткой нечетких отношений [6, 7].

Можно показать, что эта операция ассоциативна и дистрибутивна относительно нечеткого объединения, но не дистрибутивна относительно нечеткого пересечения. Другими словами, для произвольных бинарных нечетких отношений $P\{X_1, X_2\}$, $Q\{X_2, X_3\}$, $R\{X_3, X_4\}$, заданных на декартовых произведениях $X_1 \times X_2$, $X_2 \times X_3$, $X_3 \times X_4$, имеют место следующие свойства [10]

$$P \otimes (Q \otimes R) = (P \otimes Q) \otimes R; \quad (4)$$

$$P \otimes (Q \cup R) = (P \otimes Q) \cup (P \otimes R). \quad (5)$$

Однако

$$P \otimes (Q \cap R) \neq (P \otimes Q) \cap (P \otimes R). \quad (6)$$

Заметим также, что для (max - min)-композиции произвольных бинарных нечетких отношений P, Q, R , заданных на декартовых произведениях $X_1 \times X_2$, $X_2 \times X_3$, $X_3 \times X_4$, соответственно, выполняется следующее свойство монотонности: если $Q \subseteq R$, то $(P \otimes Q) \subseteq (P \otimes R)$ [6].

Используя свойства композиции бинарных нечетких отношений, разработаем модель выбора кадрового обеспечения офиса.

Введем следующие базисные множества.

$V = \{v^\theta\}$ – множество вакансий для выполнения бизнес-процессов включающих в себя бизнес-процедуры, бизнес-операции.

$P = \{p_{su}^\theta\}$ – множество характеристик вакансий, учитываемых при выборе кадрового обеспечения.

$K^\theta = \{k_{su}^\theta\}$ – множество претендентов на вакантные должности с их характеристиками (показателями).

Введем бинарные нечеткие отношения

$$A = \{ \langle v^\theta, p_{su}^\theta \rangle, \mu_Q(v^\theta, p_{su}^\theta) \};$$

$$B = \{ \langle p_{su}^\theta, k_{su}^\theta \rangle, \mu_R(p_{su}^\theta, k_{su}^\theta) \}, \quad (7)$$

где $\mu_A(v^\theta, p_{su}^\theta)$ – функция принадлежности нечеткого отношения A , которое устанавливает уровень p_{su}^θ -го требования к претендентам в соответствии с их v^θ -ой вакансией;

$\mu_B(p_{su}^\theta, k_{su}^\theta)$ – функция принадлежности нечеткого отношения B , которое устанавливает степень, с которой k_{su}^θ -ый претендент удовлетворяет предъявляемым p_{su}^θ -м требованиям.

Значение функций принадлежности $\mu_A(v^\theta, p_{su}^\theta)$ и $\mu_B(p_{su}^\theta, k_{su}^\theta)$ определяются экспертными методами.

В соответствии с (3) функция принадлежности композиции бинарных нечетких отношений A и B определяется выражением

$$\mu_{A \otimes B}(\langle v^\theta, k_{su}^\theta \rangle) = \max_{y_j \in Y} \{ \min \{ \mu_A(v^\theta, p_{su}^\theta), \mu_B(p_{su}^\theta, k_{su}^\theta) \} \}, \quad (8)$$

$$\langle v^\theta, k_{su}^\theta \rangle \in V \times K.$$

Таким образом, модель (1)–(8) позволяет рационально выбрать и распределить претендентов в соответствии с требованиями вакансий.

На этапах выбора кадрового обеспечения, когда можно получить интервальные оценки критериев, предлагается использовать следующую модель для нахождения пессимистического и оптимистического сценария.

Введем булеву переменную $X_{su}^\theta = \{0;1\}$, где $X_{su}^\theta = 1$ – если выбран претендент s -ой специальности, u -ого направления, $X_{su}^\theta = 0$ – в противном случае.

Частные критерии оптимизации:

– максимальные профессионально-образовательные показатели претендента

$$PO = \max \sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} PO_{su}^\theta X_{su}^\theta; \quad (9)$$

где PO_{su}^θ – оптимистические (пессимистические) профессионально-образовательные показатели претендента s -ой специальности, u -ого направления на θ -ю вакансию;

– максимальные квалификационные качества претендента

$$PK = \max \sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} PK_{su}^\theta X_{su}^\theta; \quad (10)$$

где PK_{su}^θ – оптимистические (пессимистические) квалификационные качества претендента s -ой специальности, u -ого направления на θ -ю вакансию;

– минимальные затратные показатели

$$PZ = \min \sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} PZ_{su}^\theta X_{su}^\theta, \quad (11)$$

где PZ_{su}^θ – оптимистические (пессимистические) затратные показатели претендента s -ой специальности, u -ого направления на θ -ю вакансию;

Область допустимых решений определяется ограничениями:

– все вакантные должности должны быть укомплектованы

$$\sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} X_{su}^\theta = \theta'; \quad (12)$$

– из множества претендентов на замещение каждой вакантной должности должен быть выбраны только один

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} X_{su}^{\theta} = 1, \theta = \overline{1, \theta'}; \quad (13)$$

– профессионально-образовательные показатели претендента на каждую вакансию должны быть не ниже заданных $PO_{зад}^{\theta}$

$$\sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} PO_{su}^{\theta} X_{su}^{\theta} \geq PO_{зад}^{\theta}, \theta = \overline{1, \theta'}; \quad (14)$$

– квалификационные качества претендента на каждую вакансию должны быть не ниже заданных $PK_{зад}^{\theta}$

$$\sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} PK_{su}^{\theta} X_{su}^{\theta} \geq PK_{зад}^{\theta}, \theta = \overline{1, \theta'}; \quad (15)$$

– расходы на зарплату не должны превышать заданных $PZ_{зад}$

$$\sum_{\theta=1}^{\theta'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} PZ_{su}^{\theta} X_{su}^{\theta} \leq PZ_{зад}; \quad (16)$$

– наличие необходимых интеллектуальных качеств IK_{su}^{θ}

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} IK_{su}^{\theta} X_{su}^{\theta} = 1, \theta = \overline{1, \theta'} \quad (17)$$

где $IK_{su}^{\theta} = \{0; 1\}$, $IK_{su}^{\theta} = 1$, если у претендента на каждую вакансию s -ой специальности, u -ого направления есть необходимые качества для θ -й вакансии, $IK_{su}^{\theta} = 0$ в обратном случае;

– наличие необходимых эмоционально-волевых качеств EK_{su}^{θ}

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} EK_{su}^{\theta} X_{su}^{\theta} = 1, \theta = \overline{1, \theta'} \quad (18)$$

где $EK_{su}^{\theta} = \{0; 1\}$, $EK_{su}^{\theta} = 1$, если у претендента на каждую вакансию s -ой специальности, u -ого направления есть необходимые качества для θ -й вакансии, $EK_{su}^{\theta} = 0$ в обратном случае;

– наличие необходимых коммуникативных качеств KK_{su}^{θ}

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{u=1}^{u'} KK_{su}^{\theta} X_{su}^{\theta} = 1, \theta = \overline{1, \theta'} \quad (19)$$

где $KK_{su}^{\theta} = \{0; 1\}$, $KK_{su}^{\theta} = 1$, если у претендента на каждую вакансию s -ой специальности, u -ого направления есть необходимые качества для θ -й вакансии, $KK_{su}^{\theta} = 0$ в обратном случае;

Приведенная модель (9)-(19) относится к задачам дискретного программирования с булевыми переменными.

Выводы. Таким образом, предложены модели выбора кадрового обеспечения, которые в отличии от известных подходов позволяют принять

решения по выбору персонала с учетом квалификационных, образовательных и психологических качеств претендентов и затрат заданных нечетко, а также получить оптимистический и пессимистический вариант решения по указанным критериям это дает возможность повысить обоснованность принимаемых решений.

Список литературы: 1. Мазур, И. И. Управление проектами: учебное пособие для студентов [Текст] / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге и др. – 5-е изд., перераб. – М.: Омега-Л, 2009. – 960 с. 2. Меняев, М. Ф. Информационные технологии управления: Учебное пособие: В 3-х кн.: Книга 3: Системы управления организацией [Текст] / М. Ф. Меняев - М.: Омега-Л, 2003. - 464 с. 3. Никитина, Н. Ш. Методика отбора персонала на вакансию на основе нечетких показателей [Текст] / Н. Ш. Никитина, Е.В. Бурмистрова // Университетское управление. - 2004. - №3(31). - С.98-103. 4. Буланова-Топоркова, М.В. Педагогика и психология высшей школы: Учебное пособие [Текст] / М. В. Буланова-Топоркова - Ростов на Дону:Феникс, 2002. - 544 с. 5. Карелин, А. Большая энциклопедия психологических тестов [Текст] / А. Карелин - М.: Эксмо, 2007. - 416 с. 6. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения [Текст] / Л. Г. Раскин, О. В. Серая – Х.: Парус, 2008. – 352 с. 7. Пономарёв, О. С. Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решения: [уч. пособие] [Текст] / О. С. Пономарёв – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – 232 с. 8. Нефёдов, Л. И. Модели и методы синтеза офисов по управлению программами и проектами: монография [Текст] / Л. И. Нефёдов, Ю. А. Петренко, Т. В. Плугина и др. – Х.: ХНАДУ, 2010: –344 с. 9. Романова, М. В. Управление проектами : учебное пособие[Текст] / М. В. Романова – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М , 2010. - 253 с. 10. Нефёдов, Л.И. Методологические основы синтеза офисов по управлению программами и проектами [Текст]: монография / Л.И. Нефёдов, Ю.А. Петренко, М.В. Шевченко, А.Б. Биньковская. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 296 с

Bibliography (transliterated): 1. Mazur, I. I., Shapiro, V. D., Ol'derogge, N. G. and other. (2009). Project management: tutorial for students. Moscow: Omega-L, 960. 2. Menjaev, M. F. (2003). Information technologies of management: Tutorial: In 3 b.: Book 3: Systems of organization management. Moscow: Omega-L, 464. 3. Nikitina, N. S., Burmistrova, E. V. (2004). Method of personnel selection on the vacancy on the basis of fuzzy characteristics. Management university. 3(31), P.98-103. 4. Bulanova-Toporkova, M. V. (2002). Pedagogy and Psychology of Graduate School: Tutorial. Rostov on Don: Feniks, 544. 5. Karelin, A. (2007). Great Encyclopedia of psychological tests. Moscow: Eksmo, 416. 6. Raskin, L. G., Seraja, O. V. (2008). Fuzzy Mathematics. Apps. Kharkov: Sail, 352. 7. Ponomarjov, O. S. (2005). Fuzzy sets in problems of automated control and decision making. Kharkov: NTU KhPI, 232. 8. Neffjodov, L. I., Petrenko, Ju. A., Plugina, T. V. and other. (2010). Models and methods of the synthesis of offices for program and project management: Monograph. Kharkov: KhNADU, 344. 9. Romanova, M. V. (2010). Project Management: tutorial. Moscow: FORUM: INFRA-M, 253. 10. Neffjodov, L. I., Petrenko, Ju. A., Shevchenko, M. V. , Binkovskaya, A. B. (2012). Methodological bases synthesis offices program and project management: Monograph. Kharkov: KhNADU, 296.

Поступила (received) 17.05.2014

УДК 637.142.2

Е. Д. КАЛИНИНА, канд. техн. наук, доц., ЛНАУ, Луганск;*О. В. КОРНИЛОВА*, ассистент, ЛНАУ, Луганск;**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ
ТРАДИЦИОННЫХ И ГИДРОЛИЗОВАННЫХ СГУЩЕННЫХ
КОНСЕРВОВ С САХАРОМ**

Проведены теоретические и экспериментальные исследования для разработки новых технологий гидролизованных сгущенных молочных консервов с сахаром. Приведены векторные схемы производства новых и традиционных технологий. Проведена сравнительная характеристика технологий традиционных и гидролизованных молочных сгущенных консервов с сахаром.

Ключевые слова: технология, гидролиз, лактоза, пастеризация, стабилизатор, сухие вещества, сгущенные, консервы.

Введение. Сгущенные молочные консервы с сахаром, благодаря высокой биологической ценности и хорошей хранимоспособности, находят широкое применение в питании человека, входят в состав мороженого, кондитерских и хлебобулочных изделий.

Производство молочных консервов с сахаром является важной отраслью хозяйства страны. Они способны длительное время храниться без порчи, что достигается за счет оптимального соотношения составляющих, наличия сахара и лактозы, а также высокой температуры пастеризации. За последнее десятилетие объемы производства сгущенных молочных консервов возросли благодаря производству новых технологий.

Однако известно, что сгущенные консервы с сахаром не отвечают требованиям качеству продуктов. Часто наблюдаются пороки консистенции «мучнистость» и «песчаность», что снижает потребительское качество продукции. Сгущенные молочные консервы с сахаром являются высококалорийными продуктами, избыток сахара может изменить нормальный гормональный фон организма человека, что может привести к излишнему весу и к риску расположенности к диабету.

К тому же, определенная часть населения земного шара не может употреблять молоко (в том числе, молоко сгущенное с сахаром), что связано с недостаточным количеством или отсутствием фермента β -галактозидазы в пищеварительном тракте человека. Это приводит к нарушению его нормальной работы, дискомфорту, ограничивает поступление в организм биологически ценных питательных веществ.

В настоящее время, в России, развивается производство безлактозных и низколактозных молочных продуктов, в том числе сгущенных молочных консервов с сахаром. Разработаны новые технологии производства сгущенных молочных консервов с сахаром «Юбилейное», «Сластена» с использованием фермента лактазы, предусматривающие проведение гидролиза лактозы.

© Е. Д. КАЛИНИНА, О. В. КОРНИЛОВА, 2014

За рубежом, в Финляндии, Америке, Канаде, странах Азии, вырабатывается продукция для людей, интолерантность к лактозе, в основном цельномолочная.

Поэтому, для решения вышесказанных проблем разработка технологий низколактозных (гидролизированных) сгущенных консервов с сахаром является актуальной и целесообразной.

Цель – разработка технологии молока обезжиренного и цельного гидролизованного сгущенного с сахаром для людей интолерантных к лактозе и широкого круга населения, повышения качества продуктов, понижения концентрации сахарозы. Были поставлены задачи обосновать и установить физико-химические, реологические, микробиологические показатели новых прдуктов.

Основные аспекты повышения качества сгущенных консервов с сахаром. В последние годы молочноконсервные предприятия выпускают как традиционные сгущенные молочные консервы с сахаром, так и новые.

Особенностью новых технологий (гидролизированных сгущенных молочных консервов с сахаром) является проведение ферментативного гидролиза лактозы с образованием моносахаров глюкозы и галактозы с использованием ферментом β -галактозидазы [1, 2]. Предложены технологические режимы проведения ферментативного гидролиза лактозы обезжиренного и цельного молока препаратом GODO-YNL2: температура 4...6 °С, массовая доля ферментного препарата 0,01 и 0,02 %, (активностью 5000 НЛЕ/см³), продолжительность 18...20 и 13...15 часов; температура 43...45 °С, массовая доля ферментного препарата – 0,03 %, продолжительность 3,5...4,0 часа, рН сырья 6,6±0,1.

Гидролитическое расщепление ферментом β -галактозидазы лактозы молока до моносахаридов глюкозы и галактозы приводит к изменению его органолептических показателей (появление сладкого привкуса), с повышением степени гидролиза лактозы повышается эффект сладости. Указанный эффект определяет возможность экономии сахара от 30 до 50 % в рецептурах гидролизированных сгущенных консервах с сахаром.

Для обеспечения высокого качества, безопасности и необходимой консистенции сгущенных молочных консервов с сахаром необходимо проводить тепловую обработку при повышенных температурах без выдержки [3, 4].

При разработке новой технологии молока обезжиренного и цельного гидролизованного сгущенного с сахаром нами предложена повторная тепловая обработка после гидролиза лактозы молока при температуре 110...112 °С без выдержки. При соблюдении данных режимов проходит инактивация фермента и исключает опасность от протеолитической и липолитической микрофлоры молока

Известно, что существенное влияние на консистенцию сгущенного молока с сахаром оказывают размер и количество кристаллов лактозы. При размере кристаллов лактозы менее 10 мкм консистенция характеризуется как «бархатистая». Кристаллы лактозы размером более 10...11 мкм начинают органолептически ощущаться, качество продукта ухудшается. Появляются пороки консистенции «мучнистость» и «песчанистость», что снижает потребительскую ценность и технологические свойства продуктов.

Формирование требуемой консистенции происходит на этапе охлаждения сгущенного молока с сахаром в процессе кристаллизации лактозы. Для качественной кристаллизации лактозы необходимо быстрое охлаждение продукта, интенсивное механическое воздействие на него и внесение затравочного материала (лактозы) [5, 6]. При разработке новой технологии молока обезжиренного и цельного гидролизованного сгущенного с сахаром на основании гидролиза лактозы на глюкозу и галактозу исключается

необходимость проведения технологической операции – внесения затравки. Известно, что повышение массовой доли сухих веществ (за счет выпаривания влаги) приводит к увеличению вязкости смеси. При разработке новых видов сгущенных молочных консервов значительное внимание уделяется их вязкости. Для определения нормированных показателей вязкости нами были установлены показатели массовой доли сухих веществ в сгущенной свежей смеси и в процессе хранения продуктов.

Традиционные сгущенные молочные консервы с сахаром вырабатывают согласно технологической схеме, представленной на рис. 1.

Однако, для обеспечения необходимой

консистенции гидролизованного сгущенного молока с содержанием 59 % была подобрана стабилизационная система Vivicioc 1L (каррагинан, гуаровая камедь, декстроза) с массовой долей от 0,2 до 0,6 % от массы продукта.

Таким образом, вышеизложенное позволяет констатировать, что существующие способы повышения качества молочных сгущенных консервов с сахаром будет положено в основу разработки технологии новых продуктов. На рис. 2. представлена технологическая схема производства гидролизованных сгущенных молочных консервов с сахаром.

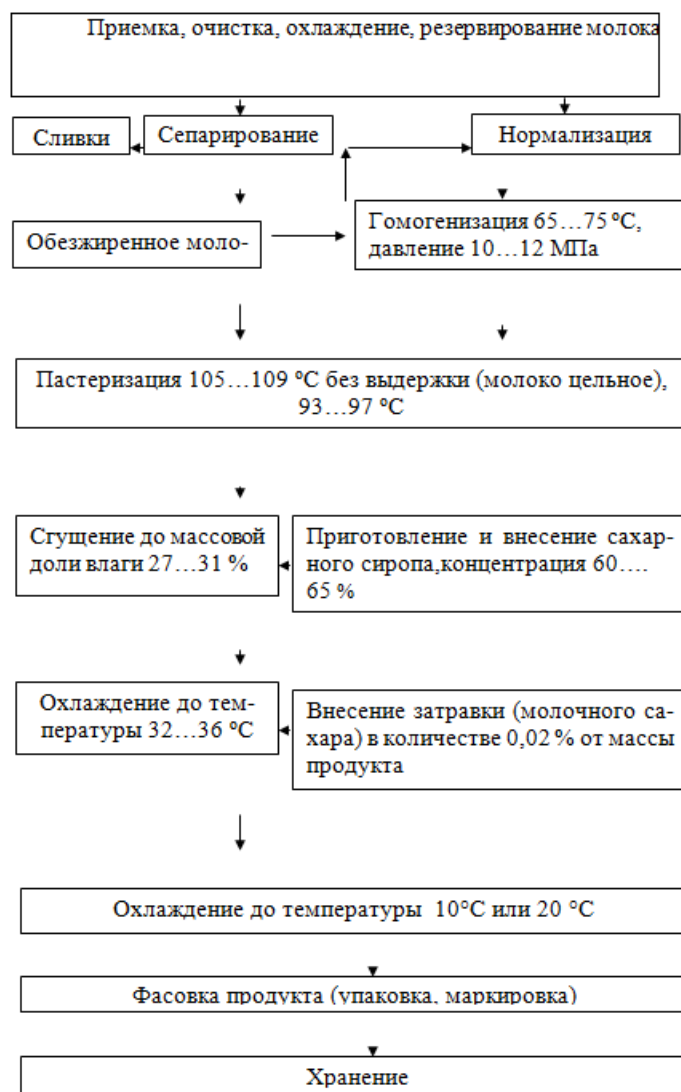


Рис. 1 – Технологическая схема производства традиционных сгущенных молочных консервов с сахаром

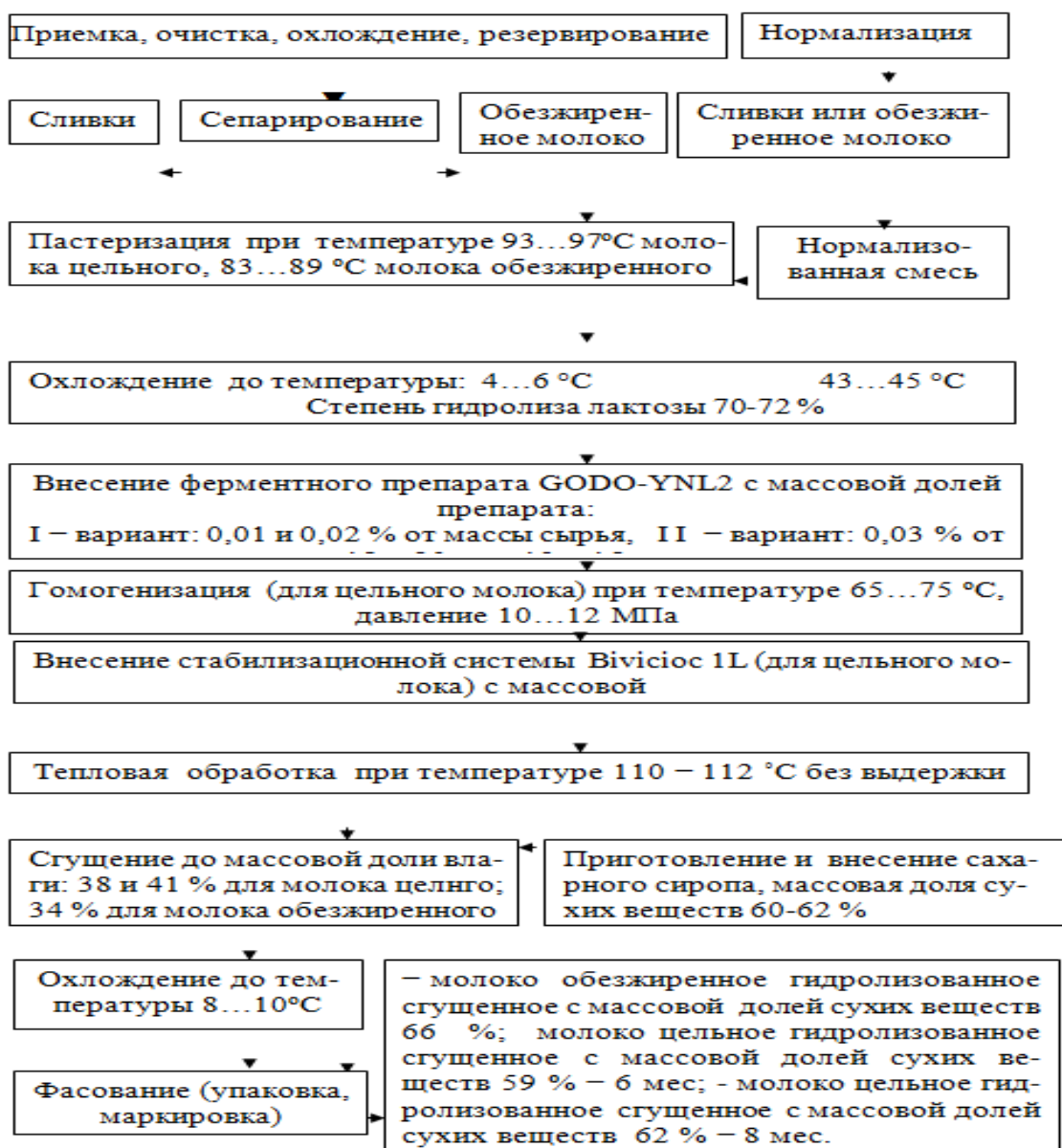


Рис. 2 – Технологическая схема производства гидролизованных сгущенных молочных консервов с сахаром

Исследованы и обоснованы органолептические, физико-химические, реологические, микробиологические показатели и сроки хранения продуктов.

В табл. 1. представлены технологические свойства новых сгущенных молочных консервов с сахаром.

Технология молока цельного и обезжиренного гидролизованного сгущенного с сахаром прошли производственную апробацию на предприятиях: ЗАО «Бахмачконсервмолоко», ЗАО «Троицкий МДЗ», ООО «Пятихатский маслозавод».

Внедрение этих видов продуктов предназначено для широко круга населения, особенно для людей, интолерантных к лактозе, производство новых продуктов не связано с дополнительными капиталовложениями.

Таблица 1 – Характеристики молока обезжиренного и цельного гидролизованного сгущенного с сахаром

Наименование Продукта	Массовая доля сахарозы, %	Массовая доля сухих веществ молока, %	Массовая доля сухих веществ продукта, %	Эффективная вязкость, Па·с
Молоко цельное сгущенное с сахаром (контроль)	43,5	28,5	72,0	3,6±0,2
Молоко цельное гидролизованное сгущенное с сахаром	31,0	28,0	59,0	1,2±0,1
Молоко цельное гидролизованное сгущенное с сахаром	22,0	37,0	59,0	1,6±0,1

Выводы

1. По результатам теоретических и экспериментальных исследований научно обоснована целесообразность разработки технологии молока цельного и обезжиренного гидролизованного сгущенного с сахаром для людей, интолерантных к лактозе.

2. Научно обоснованы и разработаны 2 способа гидролиза лактозы молока с использованием ферментативного препарата GODO-YNL2 дрожжевого происхождения массовой долей стабилизационной системы Bivicioc 1L.

3. Научно обоснованы рецептуры и влияние соотношения составляющих веществ, обеспечивающие консервирующий эффект на протяжении установленного срока хранения гидролизованных сгущенных консервов с сахаром. Обоснована необходимость сгущения обезжиренного молока с массовой долей сахарозы 31 % до массовой доли сухих веществ на уровне 66 %, молока цельного с массовой долей сахарозы 22 и 31 % до массовой доли сухих веществ 59 и 62 %, соответственно.

4. Впервые определены и обоснованы нормированные показатели эффективной вязкости и титруемой кислотности гидролизованных сгущенных консервов с сахаром: для цельного молока вязкость составляет от 5,6 до 7,2 Па·с, титруемая кислотность от 50 до 54 °Т; для обезжиренного молока вязкость – 6,0±0,3 Па·с, титруемая кислотность 58±1,0 °Т.

5. Доказано необходимость применения стабилизационной системы Bivicioc 1L для улучшения вязкостных свойств молока цельного гидролизованного сгущенного с массовой долей сухих веществ 59 % (массовая доля Bivicioc 1L – от 0,2 до 0,6 % от массы продукта).

6. Микробиологические показатели соответствуют показателям согласно ДСТУ «Молоко незбиране згущене з цукром», численность МАФАНМ – не больше $2,4 \cdot 10^4$ КОЕ/г.

Список литературы: 1. *Samer, J. W.* Production and properties of lactase [Text] / *J. W. Samer* // Biol. Chem. – 1987. – Vol. 93 – P. 347. 2. *Sviridenko, Y.*, Lactose hydrolysis by beta-galactosidase in milk sugar concentrated solutions [Text] / *Y. Sviridenko, V. Smurygin, D. Abramov, Y. Borovkova* // 24-th International Dairy Congress, Melbourne, 1994. – P. 469. 3. *Чекулаева, Л. В.* Сгущенные молочные консервы [Текст] / *Л. В. Чекулаева, Н. М. Чекулаев* // Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 254 с. 4. *Радаева, И. А.* Основные условия производства молочных консервов и сухого молока [Текст] / *И. А. Радаева* // Молочная промышленность. – 2000. – № 8. – С. 32–34. 5. *Петров, А. Н.* Органолептические свойства молочных консервов [Текст] / *А. Н. Петров* // Молочная промышленность. – 2004. – № 9. – С. 46–48. 6. *Радаева, И. А.* Повышение качества молочных консервов [Текст] / *И. А. Радаева* // Пищевая промышленность, 1980. – 93 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Samer, J. W.* (1987). Production and properties of lactase. Biol. Chem, 93, 347. 2. *Sviridenko, Y., Abramov, D., Borovkova, Y.* (1994). Lactose hydrolysis by beta-galactosidase in milk sugar concentrated solutions. 24-th International Dairy Congress, Melbourne, 469. 3. *Chekulaeva, L. V., Chekulaev, N. M.* (1982). Condensed milk con-serfs. M.: Light and Food Industry, 254. 4. *Radaeva, I. A.* (2000). Basic conditions of production of canned milk and powdered milk. Dairy Industry, № 8, 32–34. 5. *Petrov, A. N.* (2004). Organoleptic properties of milk con-serfs. Dairy Industry, № 9, 46–48. 6. *Radaeva, I. A.* (1980). Improving the quality of canned milk. Food Industry, 93.

Поступила (received) 12.05.2014

УДК 579.61

О. С. ХИЖНЯК, аспирант, НТУ «ХПИ»

ИЗУЧЕНИЕ ПРЕБИОТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАМЕНИТЕЛЯ САХАРА ЛАКТИТОЛА В УСЛОВИЯХ IN VITRO

Проведены исследования по подтверждению пребиотических свойств заменителя сахара нового поколения – лактитола. Доказано улучшение основных физиологических параметров культуры бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и лактобацилл штамма *Lactobacillus Plantarum* при введении лактитола в состав питательной ростовой среды, как при культивировании монокультур, так и при совместном культивировании. Определена оптимальная концентрация лактитола в составе питательной среды для совместного культивирования указанных бактерий.

Ключевые слова: бифидобактерии, лактобациллы, лиофилизат, микрофлора, лактитол, пребиотический компонент, кислотообразование, выживаемость, оптическая плотность, совместное культивирование.

Введение. В последнее время, в связи с ухудшением экологической обстановки, изменением рациона питания и нарастания стрессовых ситуаций возрастает спрос на препараты, стимулирующие защитные свойства организма. К числу таких препаратов относятся биологически активные добавки на основе представителей микрофлоры, характерной для кишечника здорового человека – пробиотиков. С другой стороны, в состав многих пробиотических препаратов входит лактоза – нежелательный компонент при отсутствии в организме фермента лактазы, способного ее расщеплять.

В поликомпонентных препаратах могут использоваться в качестве

© О. С. ХИЖНЯК, 2014

пребиотического компонента различные сахара с высоким гликемическим индексом, что не всегда приемлемо для потребителя [1]. Нашей задачей является создание безопасного препарата с высокими иммунобиологическими и технологическими характеристиками, с широким спектром функциональных свойств, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к пробиотическим препаратам.

В последнее время на рынке появился новый сахарозаменитель – лактитол, который получают из лактозы путем уменьшения части глюкозы в данном полисахариде (рис 1) [8].

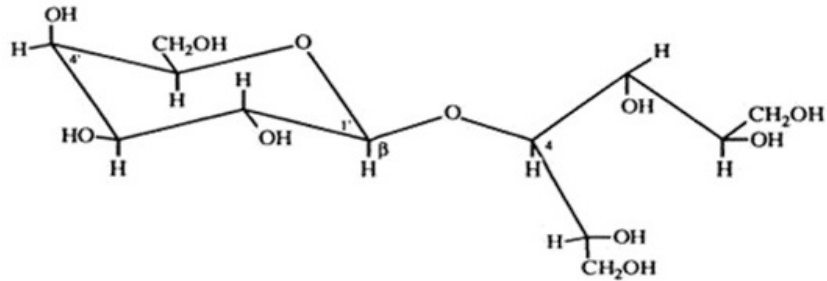


Рис. 1 – Структура лактитола

В отличие от лактозы, лактитол не гидролизуется лактазой и плохо всасывается в тонкой кишке. В толстой кишке бактерии метаболизируют лактитол до органических кислот, двуокиси углерода и водорода. Употребление лактитола не вызывает повышения уровня глюкозы и инсулина в крови, что позволяет применять его больным сахарным диабетом [1]. Как и все пребиотики, лактитол регулирует кишечную микрофлору, индуцирует полезные эффекты как на уровне желудочно-кишечного тракта, так и организма в целом, способствуя поддержанию иммунной системы человека [2,3].

При анализе литературы найдены данные, об избирательном действии лактитола на кишечную микрофлору, в частности на бифидобактерии и лактобациллы. При этом обнаруживается понижение уровня pH толстой кишки за счет снижения интенсивности размножения гнилостных бактерий, отвечающих за синтез проканцерогенных ферментов [4]. Поэтому в качестве объекта исследования были использованы представители родов бактерий – *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и *Lactobacillus Plantarum*.

Цель работы. Цель настоящего исследования состояла в изучении роста и интенсивности метаболических процессов бифидобактерий и лактобацилл на средах, содержащих лактитол в качестве дополнительного источника углевода.

Методика экспериментов. Для подтверждения пребиотических свойств лактитола проводили культивирование бактерий *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и *Lactobacillus Plantarum* in vitro на средах с различными источниками углевода. В опытах использовались полученные нами ранее лиофилизаты монокультур [9].

Лиофилизат бифидобактерий растворяли питательной средой Блаурокка (pH 6.5 ± 0.1) и восстанавливали при температуре $(38 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ в течение 96 часов, путем двух последовательных пассажей по 48 часов культивирования каждый. Затем данную культуру, в количестве 10%, вносили в подготовленную для культивирования модифицированную питательную среду КД-5. Для определения эффективности действия различных источников углевода на рост и развитие микроорганизмов *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 было подготовлено несколько вариантов среды КД-5 (pH 7.0 ± 0.1) с включением в питательную среду

фруктозы, инулина, лактулозы и лактитола в количестве 1.7% [10]. Активность накопления биомассы и кислотообразования с применением лактозы (1.7%) было изучено нами в предыдущих экспериментах [10]. Активность роста бактерий определяли по степени кислотообразования через 72 часа путем титрования пробы 0.1М раствором щелочи [5]. Количество живых бифидобактерий определяли путем 12-кратного разведения пробы на среде Блаурокка [5].

Лиофилизат лактобацилл растворяли питательной средой МРС-1 (рН 6.7±0.1) и восстанавливали при температуре (37±0.5)⁰С в течение 24 часов. Далее проводили последовательные генерации на средах МРС-2 (рН 7.3±0.1) и МРС-4 (рН 7.9±0.1). Затем данную культуру, в количестве 10%, вносили в подготовленную для культивирования модифицированную питательную среду КД-5. Варианты питательной среды КД-5 также содержали 1.7% дополнительных источников углевода, указанных выше [10]. Количество живых бактерий определяли путем подсчета колоний на среде МРС-4 [5], активность кислотообразования определяли путем титрования пробы 0.1М раствором щелочи через 48 часов культивирования [5].

Микроскопирование культуры проводили при помощи светового микроскопа «Биолам Р-11». По основным морфологическим признакам заявленные культуры бифидобактерий и лактобацилл отвечали установленным стандартам [6,7].

Интенсивность роста бактерий определяли фотометрически путем определения оптической плотности образцов при длине волны $\lambda=540$ нм. Контролем сравнения была исходная питательная среда, разведенная в 50 раз.

Опыты проводили в 3-х кратной биологической повторности. Далее по тексту приведены данные опытов, где каждое значение является средним арифметическим.

Обсуждение результатов. Изучение влияния лактитола на рост и метаболическую активность бифидобактерий в сравнении с другими углеводами.

Данные результатов исследования показали, что бифидобактерии штамма *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 способны расти на всех испытанных вариантах сред. Однако содержание того или иного источника углевода в среде по разному сказывалось на ростовых характеристиках штамма. Наибольшая физиологическая активность культуры проявлялась при внесении в питательную среду лактитола и лактулозы (рис. 2)

Интенсивность метаболических процессов у бифидобактерий контролировали по изменению рН среды во время культивирования, что служит показателем трансформации сахаров в органические кислоты,



Рис. 2 – Оптическая плотность бифидобактерий на средах с различными источниками углевода

как конечные продукты метаболизма. Изменения pH среды корректировали добавлением в среду 10%-го раствора аммиака. Данные занесены в табл.1.

Таблица 1 – количество аммиака, использованное для стабилизации pH при культивировании бифидобактерий

№ пробы	Источник углевода	Количество внесенного аммиака, мл
0	Контроль (содержит 1.7% лактозы)	0.4±0.03
1	Фруктоза	1.3±0.1
2	Инулин	0.57±0.05
3	Лактулоза	1.6±0.15
4	Лактитол	1.5±0.1

Анализ контроля бифидобактерий показал, что наибольшее количество бактерий – 10^{12} КОЕ/мл наблюдается при внесении в питательную среду лактитола и лактулозы. Внесение других компонентов в качестве источников углевода дает более низкие показатели. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 – результаты количественного определения бифидобактерий

Источник углеводов	Контроль (содержит 1.7% лактозы)	Фруктоза	Инулин	Лактулоза	Лактитол
КОЕ/мл	10^{10}	10^{10}	10^9	10^{12}	10^{12}

Показателем активности накопленной биомассы является активность кислотообразования. Данные приведены в табл. 3.

Таблица 3 – активность кислотообразования культуры бифидобактерий

№ пробы	Источник углевода	Активность кислотообразования, °Г
0	Контроль (содержит 1.7% лактозы)	150±10
1	Фруктоза	185±15
2	Инулин	175±15
3	Лактулоза	240±20
4	Лактитол	240±20

Морфологические признаки бактерий *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 при росте на всех вариантах сред были сохранены и соответствовали описанным в литературе [6,7].

Изучение влияния лактитола на рост и метаболическую активность лактобактерий в сравнении с другими углеводами.

Внесение дополнительных источников углевода положительно влияет на

Оптическая плотность лактобацилл

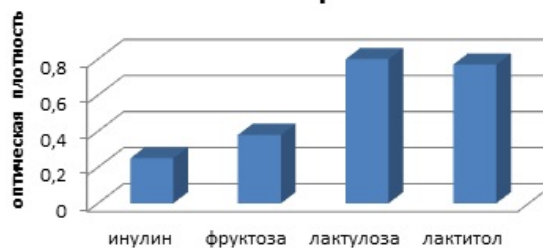


Рис.3 – оптическая плотность лактобацилл на средах с различными источниками углевода

рост и активность культуры лактобактерий, однако наиболее эффективно было внесение лактитола и лактулозы. Данные представлены на рис. 3.

Изменение интенсивности метаболических процессов при кислотообразовании (контролируемое путем внесения 10%-го раствора аммиака) представлено в табл. 4.

Таблица 4 – количество аммиака, использованное для стабилизации рН при культивировании лактобацилл

№ пробы	Источник углевода	Количество внесенного аммиака, мл
0	Контроль (содержит 1.7% лактозы)	0.6±0.05
1	Фруктоза	1.7±0.1
2	Инулин	0.87±0.05
3	Лактулоза	2.3±0.1
4	Лактитол	2.0±0.1

Данные о динамике изменения активности кислотообразования культуры *L.Plantarum* при внесении дополнительных источников углевода представлены в табл. 5.

Таблица 5 – активность кислотообразования культуры лактобацилл

№ пробы	Источник углевода	Активность кислотообразования, °Т
0	Контроль (содержит 1.7% лактозы)	250±10
1	Фруктоза	330±15
2	Инулин	290±15
3	Лактулоза	380±20
4	Лактитол	390±20

Анализ результатов по подсчету клеток *L.Plantarum* на среде МРС-4 при проведении контроля показал, что максимальное количество бактерий наблюдается при внесении в ростовую среду в качестве дополнительного источника углевода лактитола и лактулозы 4.28 млрд. и 4.46 млрд. микробных клеток соответственно, в то время как значение этого показателя на контрольной питательной среде составляет 2.8 – 3.2 млрд. микробных клеток. Показатели инулина и фруктозы не значительно отличались от контроля. Данные по количеству микробных клеток лактобацилл при внесении различных источников углеводов представлены в табл. 6.

Таблица 6 – результаты количественного определения лактобацилл

Источник углеводов	Контроль (содержит 1.7% лактозы)	Фруктоза	Инулин	Лактулоза	Лактитол
Кол-во живых бактерий, млрд. микробных клеток	2.9	3.3	3.1	4.28	4.46

Определение оптимального количества пребиотического компонента, вносимого в монокультуру бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и монокультуру лактобацилл штамма *Lactobacillus plantarum* 8R-A3.

Монокультуры бифидобактерий и лактобацилл в количествах 5 % были внесены в подготовленную питательную среду КД-5 (рН 7.0±0.1), которая содержала пребиотический компонент в количествах, указанных в табл. 7. Объем каждой пробы 50 мл.

Таблица 7 – Количество пребиотического компонента в составе питательной среды

№ пробы	Лактулоза	Лактитол
1	1.7%	
2		1.7%
3	1%	
4		1%
5	2%	
6		2%
7	0.9%	0.8%

Основным показателем динамики роста бактерий в процессе культивирования и свидетельством окончания роста является изменение и стабилизация величины рН среды, которую корректировали добавлением в среду 10 %-го раствора аммиака. Общее количество аммиака, добавленное в каждую пробу представлено на рис. 4 и 5.

Анализ результатов по определению количества живых бифидобактерий во всех образцах находился на высоком уровне и составил 10^{12} КОЕ/мл, что значительно превышает этот показатель при культивировании бактерий без дополнительного источника углевода – 10^9 - 10^{10} КОЕ/мл. Результаты по подсчету клеток *L. plantarum* 8R-A3 на среде МРС-4 также указывали на интенсификацию роста. Данные приведены на рис. 6.

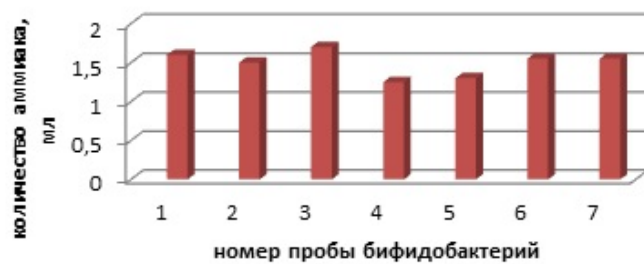


Рис. 4 – Количество аммиака, внесенное в пробы бифидобактерий для стабилизации рН

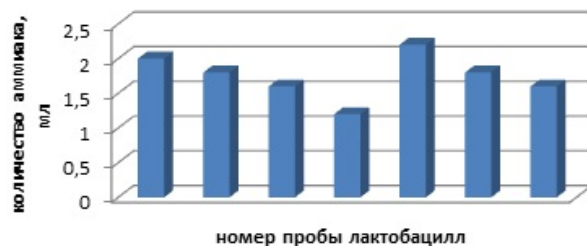


Рис. 5 – Количество аммиака, внесенное в пробы лактобацилл для стабилизации рН

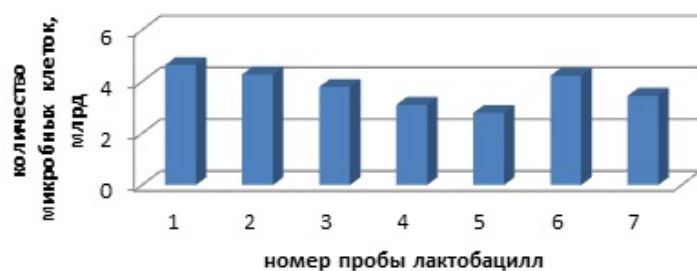


Рис. 6 – Изменение биомассы лактобацилл в зависимости от источника углевода и его количества

Способность накопленной биомассы к трансформации сахаров определяется по активности кислотообразования, данные внесены в табл. 8.

Таблица 8 – активность кислотообразования бифидобактерий и лактобацилл

№ пробы	Активность кислотообразования, °Т	
	Бифидобактерии	Лактобациллы
1	240±10	380±15
2	245±10	390±15
3	250±10	380±15
4	260±10	400±15
5	260±10	390±15
6	240±10	385±15
7	245±10	360±15

Данные по динамике роста бифидобактерий и лактобацилл на образцах с различными количествами пребиотического компонента представлены на рис. 7 и 8. Следует учесть, что измерение оптической плотности проводили при разбавлении культуры дистиллированной водой в 50 раз.

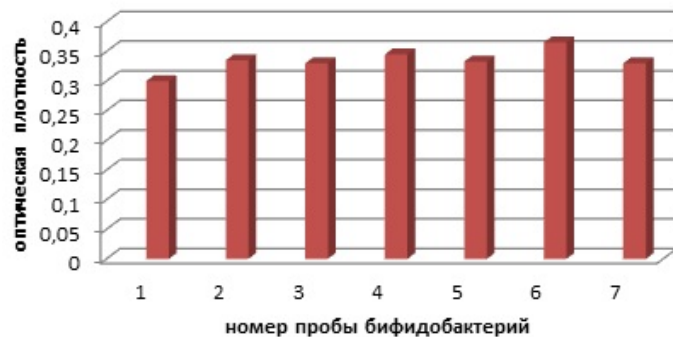


Рис. 7 – Значение оптической плотности образцов бифидобактерий

Сравнительная оценка пребиотической активности лактитола и лактулозы при совместном культивировании штаммов *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и *Lactobacillus plantarum* 8R-A3. Восстановленные маточные культуры в количестве 2.5% бифидобактерий и 7.5% лактобацилл вносили в

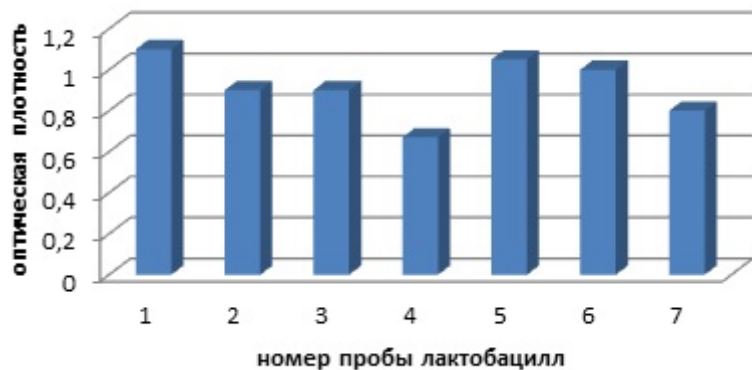


Рис. 8 – Значение оптической плотности образцов лактобацилл

подготовленную производственную среду КД-5 (рН 7.0±0.1), содержащую 1% лактитола (проба №1) и 1.7% лактулозы (проба №2). Культивирование проводили в течение 48 часов.

Для стабилизации рН в процессе роста было использовано значительно большее количество аммиака, чем при культивировании монокультур. Значения представлены на рис. 9.

Активность кислотообразования образцов была проведена согласно стандартным методикам и составила (290±5)⁰Т для лактобацилл и не

значительное отличие при проведении анализа для бифидобактерий – $(392 \pm 5)^0\text{C}$ – для пробы №1 и $(396 \pm 5)^0\text{C}$ – для пробы №2.

Количество живых бактерий также находилось на высоком уровне и составило: для пробы №1 – 10^{12} КОЕ/мл бифидобактерий и 6.4 ± 0.2 млрд м.к. лактобацилл; для пробы №2 – 10^{12} КОЕ/мл бифидобактерий и 6.8 ± 0.2 млрд м.к. лактобацилл.

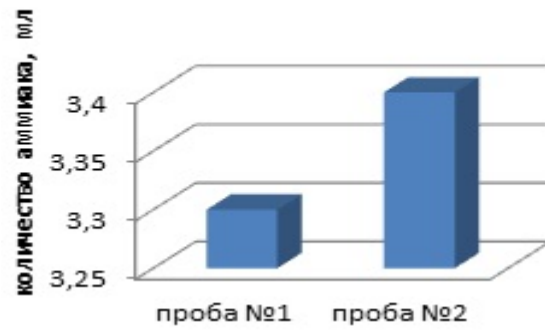


Рис. 9 – Количество аммиака, пошедшее на стабилизацию рН при совместном культивировании бактерий

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что культивирование бифидобактерий *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и лактобацилл *Lactobacillus Plantarum* в условиях *in vitro* на среде с содержанием, в качестве дополнительного источника углевода, лактитола имеет хорошие показатели роста и уровень накопления биомассы, и по своим основным показателям не уступает наиболее распространенному и эффективному пребиотическому компоненту – лактулозе. Также доказана эффективность применения лактитола в производстве комплексного пробиотического препарата и установлена его концентрация – 1%. Таким образом, можно утверждать, что лактитол обладает пребиотическими свойствами, способен улучшать показатели как бифидобактерий, так и лактобацилл и может быть использован в составе комплексного препарата в качестве пребиотического компонента.

Список литературы: 1. Дорохович, А. Н. Сахарозаменители нового поколения низкой калорийности и гликемичности [Текст] / А.Н. Дорохович, В.В. Дорохович, Н.П. Лазаренко // Продукты и ингредиенты. – 2011. - № 6(8). – С. 46 – 48. 2. Капрельяни, Л. В. Пребиотические пищевые ингредиенты. Современное состояние и перспективы [Текст] / Л.В. Капрельяни // Продукты и ингредиенты. – 2005. - № 6. – С. 60 – 62. 3. Шендеров, Б. А. Пробиотики, пребиотики и синбиотики [Текст] / Б.А. Шендеров // Пищевые ингредиенты, сырье и добавки. – 2005. - № 2. – С. 23 – 26. 4. Артюхова, С. И. Пребиотик лактитол – эффективное средство для поддержания здоровья современного человека [Текст] / С.И. Артюхова, Ю.А. Гаврилова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. - № 4. – С. 95 – 96. 5. Краснопольский Ю.М. Фармацевтическая биотехнология: Технология производства иммунобиологических препаратов: Учебное пособие / Ю. М. Краснопольский, М. И. Борщевская. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2009. – 352 с. 6. Определитель бактерий Берджи: В 2-х т. Т.1: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Смита, Дж. Стейли, С. Уильямса. – М.: Мир, 1997. – 432 с. 7. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. Т.2: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Смита, Дж. Стейли, С. Уильямса. – М.: Мир, 1997. – 359 с. 8. Артюхова, С. И. Использование пробиотиков и пребиотиков в биотехнологии производства биопродуктов [Текст] / С. И. Артюхова, Ю. А. Гаврилова. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 112 с. 9. Біотехнологічні аспекти отримання комплексного препарату, який містить різні штами пробіотичних культур / О.С. Хижняк, Ю.М. Краснопольський // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технологія органічних і неорганічних речовин і екологія. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. - № 4. – с. 113 – 120. 10. Доведення пребіотичної активності лактитолу при сумісному культивуванні біфідобактерій та лактобацилл [Текст] / О.С.Хижняк // Інформаційні

Bibliography (transliterated): 1. *Dorohovich, A. N., Dorohovich, V.V., Lazarenko, N.P.* (2011) The new generation of sugar substitute with low calories and the low glycemic index. *Products and ingredients*, 6 (8), 46-48. 2. *Kapreljanc, L. V.* (2005). Prebiotic food ingredients. Current status and prospects. *Products and ingredients*, 6, 60-62. 3. *Shenderov, B. A.* (2005). Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. *Food ingredients, raw materials and additives*, 2, 23-26. 4. *Artyuhova, S. I., Gavrilova, Y. A.* (2013). Prebiotic lactitol is an effective tool for maintaining the health of modern man. *International Journal of applied and fundamental research*, 4, 95-96. 5. *Krasnopolsky, J. M., Borschevskaya, M. I.* (2009). Pharmaceutical biotechnology. Production technology of immunobiological preparations. Kharkiv: NTU «KhPI». 6. *J. Holt, N. Krieg, P. Smith, G. Staley, C. Williams.* The determinant of Berdji bacteria. In 2-t. t. 1 -Moscow: Mir, 1997, 432. 7. *J.Holt, N. Krieg, P. Smith, G. Staley, C. Williams.* The determinant of Berdji bacteria. In 2-t. t. 2 - Moscow: Mir, 1997, 359. 8. *Artyuhova, S. I.* (2010). The use of probiotics and Prebiotics in biotechnology production of Bioproduct, 112 p. 9. *Khizhnyak, O.S., Krasnopolsky, Y.M.* (2013). Biotechnological aspects of obtaining integrated drug that contain various strains of probiotic cultures. *Bulletin of NTU "KhPI"*, 4, 113-120. 10. *Khizhnyak, O.S.* (2014). The comparative characteristics of prebiotic properties of some polisaharid. Scientific-practical konferenc. NTU "KhPI", 344

Поступила (received) 21.05.2014

УДК 338.439.63:613.24

Г. І. СЕНОГОНОВА, аспірант, КНТЕУ, Київ;

Н. В. ПРИТУЛЬСЬКА, д-р техн. наук, проф., КНТЕУ, Київ;

ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЬОВОГО СЕГМЕНТУ РИНКУ СПОЖИВАЧІВ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З НАДЛИШКОВОЮ МАСОЮ ТІЛА

В роботі проведені дослідження споживацьких очікувань та переваг щодо харчових продуктів для людей з надлишковою масою тіла та відношення потенційних споживачів до кондитерських виробів спеціального призначення. Щоб максимально задовольнити потреби споживача сьогодні, необхідно забезпечити разом не тільки безпечність, органолептичні, фізико-хімічні але й функціональні властивості розроблених харчових продуктів.

Ключові слова: споживачі, асортимент, харчові продукти, маркетингові дослідження, маса тіла.

Вступ. Цільовий ринок - це потенційний ринок, обраний в результаті дослідження ринків збуту тієї чи іншої продукції або послуги, що характеризується мінімальними витратами на маркетинг і забезпечує для фірми основну частку результату її діяльності.

За прогнозами експертів ВООЗ, що існують сьогодні проблема зайвої ваги набирає стрімкий темп зростання. Вочевидь, що при всіх інших факторах, провідною причиною розвитку ожиріння є надмірне харчування і гіподинамія, які одночасно розглядаються як загальноновизнані фактори ризику розвитку значної кількості серйозних захворювань та незворотних процесів руйнування організму людини в цілому.

Максимально чіткий аналіз та відокремлення сегменту ринку, на якому ця

© Г. І. СЕНОГОНОВА, Н. В. ПРИТУЛЬСЬКА, 2014

продукція буде найбільш затребувана кладе велику відповідальність на виробників нових продуктів для контролю ваги з метою попередження фатальної популяції проблемі зайвої ваги в світі. На стадіях розробки не залишає місця для помилок, виробництва і реалізації різноманітність нових харчових продуктів, що швидко зростає [1 - 3].

Метою роботи. Метою роботи є вивчення попиту населення, особливо на нові маловідомі товари, зокрема продукти для спеціального дієтичного споживання (для контролю ваги).

За прогнозами експертів ВООЗ, при збереженні існуючих темпів зростання захворюваності до 2025р. в світі буде налічуватися більше 300 млн. страждаючих на ожиріння. Приблизно 20 млн. дітей до 8 років мають проблеми зайвої ваги. Європейський Союз та ВООЗ у Європі назвали попередження та лікування ожиріння найбільшим викликом для системи охорони здоров'я в ХХІ сторіччі.

Методика експериментів. Ожиріння є хронічне захворювання обміну речовин, з надмірним розвитком жирової тканини, прогресуюче при природному перебігу, що має ускладнення і високу ймовірність рецидивування. Ожиріння є серйозною медико - соціальною та економічною проблемою сучасного суспільства. Актуальність ожиріння визначається в першу чергу його високою поширеністю [6-10].

Проте, не дивлячись на таку ситуацію, серед населення України відсутнє відношення до ожиріння не тільки як до серйозного захворювання, але і як до патології взагалі. Низька інформаційна культура населення, а також деколи недостатня увага лікарів до даної проблеми привели до того, що останнім часом в Україні поширення набули різні засоби для регуляції ваги тіла, основна частина яких природно є БАДами (біологічно активними добавками).

Оскільки ожиріння є захворюванням – тому ця проблема потребує комплексного втручання. Одним із складових комплексу попередження проблеми зайвої ваги є створення нових харчових продуктів для контролю ваги. З метою формування споживних властивостей харчових продуктів для контролю ваги проведено ряд маркетингових досліджень. Визначено типовий портрет потенційних споживачів, вивчено попит, поведінку, очікування та переваги споживачів щодо харчових продуктів для контролю ваги [2 - 5].

Просування товарів, направлених на певну групу споживачів, з урахуванням їх інтересів і запитів, поступова заміна традиційного асортименту харчових продуктів на спеціальні з функціональними властивостями є основним напрямком розвитку цивілізованого ринку [2 - 5].

Необхідно ще на стадії розробки товару або його модифікації створювати конкурентноздатний товар з урахуванням вимог, запитів споживачів і переваг.

Товарознавчим аспектам харчових продуктів для спеціального дієтичного споживання є праці Покровськог О.О., Рогозкіна В.О., Яковлева М.М., Пшендіна А.І., Полієвського С.А., Сирохмана І.В., Євлаш В.В., Смоляра В.І., Португалова С.Н., Куліненкова О.С., Волкова М.І., Смульського В.М., Суздальського Р.С., Тутельяна В.О., Lemon P., Wilmore J., Williams M. Coleman E. та ін.

Обговорення результатів. За допомогою дієти можна активно впливати на основні механізми, що лежать в основі патогенезу ожиріння. В основу

дієтотерапії покладено принцип, який базується на концепції оптимального харчування, згідно з якою хімічна структура раціону і його енергетична цінність повинні відповідати стану ферментних систем організму, відповідальних за асиміляцію та дисиміляцію їжі.

Експеримент проводили методом анкетування професійних спортсменів, людей зайнятих важкою фізичною працею та аматорів. В опитуванні прийняли участь 350 осіб, серед яких: професійних спортсменів - 82, аматорів - 72, студентів Київського національного університету торговельно-економічного університету – 55, людей зайнятих важкою фізичною працею - 75; інших (люди за різним віком, статтю, професією, відношенням до спорту, соціальним статусом, матеріальною забезпеченістю та колом інтересів) – 66.

Респонденти - мешканці м. Києва від 21 до 50 років, а саме, чоловіків 190, жінок 160.

В коло питань входило - вік, стать, сімейний стан, рівень доходів, професіональний рівень та стаж, мета споживання спеціальних продуктів.

Інформацію було проаналізовано у генеральній вибірці й в умовно розподілених групах потенційних споживачів, яких було сегментовано за віком, статтю, сімейним станом, професійною приналежністю, інтенсивністю й стажем фізичного навантаження та за регулярності споживання спеціальних виробів харчування.

Таким чином встановлено, що частка респондентів з цільової вибірки, що регулярно займаються спортом становить 70%, у тому числі професійних спортсменів – 49%, аматорів – 37%, осіб, що іноді займаються – 8% і не займаються спортом зовсім – 19%.

Складено типовий портрет (сегмент обіймає 55%) регулярного споживача спеціальних продуктів дієтичного споживання: це здебільшого чоловіки (65%), що регулярно (64%) вживають додаткове харчування переважно білково-вуглеводної спрямованості (82%) для нарощування м'язової маси (68%) та підтримки спортивної форми (11%), віком 25-35 років (47%), неодружені (57%), які регулярно займаються спортом (18% із них на професійному рівні), з матеріальним доходом 2500-3500 гривень на місяць, згодні витратити на додаткове спеціальне харчування у середньому 250±40 грн./місяць, а 73% із них не задоволені існуючим асортиментом кондитерських виробів для людей з надлишковою масою тіла через незадовільні органолептичні властивості.

Встановлено, що споживачі очікують: 33% – підвищення працездатності; 23% – додатково до підвищення працездатності стабілізації психоемоційного стану; 22% – очікують прискорення відновлення та мобілізації сили; 35% – додатково до підвищення працездатності і стабілізації емоційного стану очікують підвищення витривалості, а 26% – сподіваються за рахунок споживання спеціально спроектованих, збалансованих та смачних кондитерських виробів поліпшити активність та настрій.

Досліджено ступінь інформованості потенційних споживачів. Встановлено, що майже 70% від числа опитаних отримують інформацію про спеціальні харчові продукти із Internet-ресурсів, при цьому з них 40% їй не цілком довіряють, а 47% відмітили відсутність у засобах масової інформації наукової, достовірної

інформації щодо принципів та особливостей харчування та відсутності інформації про асортимент для людей з надлишковою масою тіла. Респонденти, 30%, відмітили недостатність інформації на етикетці харчового продукту, відсутність рекомендацій щодо меж безпечного споживання і функціонального призначення.

Про той чи інший продукт споживачі дізнаються випадково, а інформацію про нього отримують від продавця, обмежуючись його компетенцією. Тренери та дієтологи спортивних команд відмітили, що виробники цукерок спортивного призначення вказують, здебільшого, тільки неповний склад, їх харчову та енергетичну цінність, не розкриваючи вміст вітамінів і мінералів, що перешкоджає включенню енергетичних батончиків до розрахованого на певну дієту збалансованого за функціональним напрямком раціону харчування професійних спортсменів.

Щодо бажаної маси порції кондитерських виробів встановлено, що серед кола опитаних найбільші два сегменти респондентів по 26% віддали перевагу порціям в 100 і в 120 г., а 15% з кола опитаних визнали оптимальною 100 г порцію, серед них споживачі рівномірно розподілені за віком, статтю, стажем та регулярністю спортивних тренувань. 10% респондентів проголосували за порцію на 150 г, серед яких переважна більшість (77%) чоловіки, які поєднують важку працю з додатковими спортивними навантаженнями з силових видів спорту.

На думку споживачів, межі найбільш оптимальної порції кондитерського виробу для одноразового споживання знаходяться у діапазоні від 120 до 150 г. Проаналізувавши портрети потенційних споживачів кондитерських виробів для людей з надлишковою масою тіла, їх поведінку, очікування та переваги, згідно отриманих даних комплексного маркетингового дослідження, було визначено економічний та соціальний ефекти від впровадження цих виробів у практику підготовки спортсменів.

Висновки. Дослідження ринку харчових продуктів для контролю ваги підтвердили доцільність розширення асортименту за рахунок розробки нових видів спеціальних продуктів з функціональними властивостями, а саме, кондитерських виробів. За допомогою вірного підбору компонентів спортивного харчування у комплексі з фізичними навантаженнями, дотриманням правильної системи харчування можна досягнути позитивних результатів у боротьбі з зайвою вагою.

Результати аналізу очікувань потенційних споживачів дозволяють прогнозувати позитивний попит на кондитерські вироби, а результати вивчення уподобань сприяли розробці оптимальних рецептур кондитерських виробів для контролю ваги.

Список літератури: 1. *Притульська, Н. В.* Визначення цільового сегменту ринку споживачів цукристих кондитерських виробів для спортсменів [Текст] / *Н. В. Притульська, Л. І. Сєногонова* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 6 (57). – С. 70–76. 2. *Артышевский, В. Н.* Маркетинг физкультурно-спортивных услуг и товаров [Текст] / *В. Н. Артышевский.* – К.: НВП «ЭПМФИС», 1993. — 79 с. 3. *Гуськов, С. И.* Спортивный маркетинг [Текст] / *С. И. Гуськов.* – М.: Спорт, 2001. – 296 с. 4. *Мичуда, Ю. П.*

Особенности маркетинга физкультурно-оздоровительных клубов Украины в современных условиях [Текст] / Ю. П. Мичуда // Наука в олимпийском спорте. Спец. выпуск «Спорт для всех». Киев, Олимпийская литература, 2000. – С.50–54. **5.** Аleshina, И. В. Поведение потребителей [Текст] / И. В. Аleshina. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 1999. – 384 с. **6.** Ариффи, А. Статистический анализ [Текст] / А. Ариффи, С. Эйзен; пер. с англ. О. П. Круглова. – М. : Наука, 1982. – 178 с. **7.** Лесиовская, Е. Е. Биологические добавки к пище [Текст] / Е. Е. Лесиовская, Н. Ю. Флорова, Е. В. Дрожжина. – Санкт-петербург. Сова. М. ЭКСМО–Пресс, 2001. – С. 7–18, 505–519. **8.** Beck, A. T. Cognitive therapy and the emotional disorders [Text] / A. T. Beck. – New York: International Universities Press, 1976. **9.** Weiss, J. L. Obesity, obstetric complications and Cesarean delivery rate a population- based screening study [Text] / J. L. Weiss, F. D. Malone, D. Emig // American journal of obstetrics and gynecology. – 2004. – № 190. – P. 1091–1097. **10.** O'Brien, T. E. Maternal body mass index and the risk of preeclampsia: a systematic overview [Text] / T. E. O'Brien, J. G. Ray, W. S. Chan // Epidemiology. – 2003. – № 14. – P. 368–374.

Bibliography (transliterated): **1.** Pritul's'ka, N. V., Senogonova, L. I. (2012). Viznachennja cil'ovogo segmentu rinku spozhivachiv cukristih konditers'kih virobiv dlja sportsmeniv. Eastern-European Journal of enterprise technologies, Vol. 3, № 6 (57), 70–76. **2.** Artyshevskij, V. N. (1993). Marketing fizkul'turno-sportivnyh uslug i tovarov. NVP «JePMFIS», 79. **3.** Gus'kov, S. I. (2001). Sportivnyj marketing. Sport, 296. **4.** Michuda, Ju. P. (2000). Osobennosti marketinga fizkul'turno-ozdorovitel'nyh klubov Ukrainy v sovremennyh uslovijah. Nauka v olimpijskom sporте. Spec. vypusk «Sport dlja vseh». Kiev, Olimpijskaja literatura, 50–54. **5.** Aleshina, I. V. (1999). Povedenie potrebitelej. FAIR-PRESS, 384. **6.** Arifi, A., Jeizen, S. (1982). Statisticheskij analiz. Nauka, 178. **7.** Lesiovskaja, E. E., Florova, N. Ju., Drozhzhina, E. V. (2001). Biologicheskie dobavki k pishhe. Sankt-peterburg. Sov. M. JeKSMO–Press, 7–18, 505–519. **8.** Beck, A. T. (1976). Cognitive therapy and the emotional disorders. New York: International Universities Press. **9.** Weiss, J. L., Malone, F. D., Emig, D. (2004). Obesity, obstetric complications and Cesarean delivery rate a population- based screening study. American journal of obstetrics and gynecology, 190, 1091–1097. **10.** O'Brien, T. E., Ray, J. G., Chan, W. S. (2003). Maternal body mass index and the risk of preeclampsia: a systematic overview. Epidemiology, 14, 368–374.

Надійшла (received) 25.05.2014

И. Ш. НЕВЛЮДОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ХНУРЭ, Харьков;
А. А. АНДРУСЕВИЧ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ХНУРЭ, Харьков;
И. В. ЖАРИКОВА, ст. препод., ХНУРЭ, Харьков;
А. Г. РЕЗНИЧЕНКО, ассистент, ХНУРЭ, Харьков;

СИНТЕЗ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ПОЛОСЫ ПОВЕРХНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДЛОЖЕК ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

В статье рассмотрены вопросы обработки изображений в автоматизированной системе контроля шероховатости поверхности подложек для изделий электронной техники. Сформированы требования к разрабатываемой технологии контроля, выполнены обзор и анализ методов идентификации полутоновых изображений. Синтезирован метод идентификации видеоизображения интерференционной полосы поверхности на основе методов поэлементных преобразований, линейного контрастирования, пороговой обработки и порогового разделения.

Ключевые слова: функциональная подложка, шероховатость поверхности, контроль, автоматизированная система, интерференционный метод, обработка изображения, идентификация.

Введение. Функциональная подложка предназначена для создания на ее поверхности ряда различных по назначению электронных структур, которые определенным способом могут быть заданы в соответствии с электрической схемой функционального устройства. Контроль шероховатости поверхности функциональных подложек является ответственным этапом при производстве изделий электронной техники, поскольку данный геометрический параметр качества поверхности, наряду с волнистостью и микронеровностями, в значительной степени влияет как на процесс изготовления электронного устройства, так и на стабильность работы готового изделия [1 – 2].

Автоматизация процесса контроля шероховатости поверхности – актуальная задача в условиях повсеместного внедрения информационных технологий в приборостроительных производственных процессах [3 – 4]. Контролируемые величины лежат в субмикронной области, а операция контроля технологического процесса изготовления подложек на сегодняшний день достаточно трудоемка. Решение данной задачи позволит повысить достоверность и снизить трудоемкость контроля, а также увеличить скорость обработки результатов измерений.

Постановка задачи. Существует множество методов контроля качества поверхности функциональных подложек, однако анализ ряда публикаций последних лет показывает, что у ведущих производителей электронных устройств в ряде государств мира не был сформирован единый подход к

вопросам оценки шероховатости [5]. При этом постоянно ужесточаются требования как к качеству поверхности подложек, так и к приборам для измерения шероховатости, и к методам распознавания изображений.

При автоматизации процесса контроля шероховатости поверхности функциональной подложки необходимо решить ряд вопросов, связанных с выбором метода идентификации видеоизображения интерференционной полосы поверхности функциональных подложек, если речь идет об использовании оптических методов контроля шероховатости.

Как известно, оптические методы интерферометрии широко применяются в технологических процессах контроля материалов, деталей и изделий в различных отраслях науки и техники. Анализ получаемых интерферограмм позволяет количественно определять геометрические параметры и, в частности, восстанавливать форму сложных объектов [6].

Разрабатываемая технология автоматизированного контроля шероховатости поверхности подложек основана на интерференционном методе с применением современных методов восприятия и обработки информации, а именно твердотельных фотоприемников и микропроцессорной техники. Следуя сформированной укрупненной схеме технологии контроля геометрических параметров, необходимо:

- получить матрицу цифрового кода амплитуд яркости контролируемой поверхности;
- распознать интерференционные полосы;
 - восстановить полезный сигнал;
- сформулировать заключение о качестве поверхности подложки и ее пригодности для дальнейшего использования в ходе производственного процесса, а также вычислить значение восстановленного сигнала с выдачей численного значения шероховатости [7].

Требования к разрабатываемой технологии автоматизированного контроля. Для получения матрицы цифрового кода амплитуд яркости контролируемой поверхности предпочтительным является использование электронных сканирующих устройств, а именно линейных фоточувствительных приборов с зарядовой связью. Однако у таких типов приборов расстояние между центрами фоточувствительных элементов составляет 12-15 мкм. Поэтому для точного измерения интерференционной картины необходимо использовать оптическую систему, создающую увеличенное изображение поверхности подложки с интерференционными полосами, искривленных в местах некачественной обработки. Введение объектива в измерительный тракт выдвигает требование решения задачи восстановления неизвестного входного распределения в плоскости изображения.

Для решения задачи распознавания интерференционных полос необходимо провести обзор и анализ существующих методов идентификации полутоновых изображений.

Матричное представление амплитуды яркости поверхности подложки методом поэлементных преобразований. В общем случае под исследуемой поверхностью понимается двумерная функция $g(x, y)$, задающая для каждой точки (x, y) выбранной картинной плоскости значение (g) яркости (освещенности)

соответствующей точки сцены. Будем считать рассматриваемый участок картинной плоскости (выбранной плоской проекции рабочей сцены) прямоугольником размером $(X \times Y)$ и поместим начало системы координат (O_{xy}) в его левый нижний угол. Тогда $x \in [0, X]$, $y \in [0, Y]$. Обычно вместо исходного изображения $g(x, y)$ в память компьютера вводится массив значений $G(i, j)$, задаваемый на целочисленной решетке $i = 0, N_x, j = 0, N_y$, покрывающей всю область $(X \times Y)$ или ее некоторую подобласть. Значение G в узловой точке представляет усредненную яркость (g) элемента изображения в окрестности этой точки. Чаще всего считают, что элементы изображения (пиксели) имеют прямоугольную форму, хотя не исключены и иные виды разбиения картинной плоскости. Максимальный шаг h пространственной решетки при оцифровке – вводе исходного изображения в память компьютера в виде функции $G(i, j)$ – должен выбираться из условия $h < 1/(2f_m)$, где f_m – максимальная пространственная частота изображения.

Кроме пространственной дискретизации, оцифровка изображения предусматривает квантование уровней яркости [8]. Обычно для этого используются аналого-цифровые преобразователи или компараторы, причем чаще применяют алгоритмы с оперативным управлением порогами сравнения. После квантования функция $G(i, j)$ принимает целочисленные значения:

$$G(i, j) = k, \text{ при } T_{k-1} \leq G(i, j) < T_k, k \in [0, k_{MAX}], \quad (1)$$

где T_k – значение k -го порогового уровня.

В случае $k_{MAX} = 1$ оцифрованное изображение называется бинарным (двуградационным), в случае $k_{MAX} > 1$ – полутонным (многоградационным).

Далее следует описание алгоритма разметки, который лучше приспособлен к последовательному сканированию изображения и не нуждается в рекурсивных вызовах. Допустим, что сканирование ведется строка за строкой, сверху вниз и слева направо (рис. 1).

Тогда при обработке элемента (А) будет известно, что левый элемент (В), так же как и верхний (С), уже помечен. Далее, элемент (D), расположенный над (В), считается связанным с (А) и потому также должен быть принят во внимание.

Для простоты предположим, что размечаются лишь компоненты объекта. Тогда если (А) содержит нуль, то можно идти дальше. Если (А) содержит единицу, а (D) уже помечен, то достаточно просто скопировать эту метку и продолжить работу. То же самое необходимо сделать, если помечен один из элементов (В) или (С). Если же ни (В), ни (С) не помечены, то мы должны выбрать новую метку для (А). Таким образом, здесь впервые вводится в рассмотрение новая компонента.

Оставшаяся возможность: как (В), так и (С) имеют метки.

Проблем не возникает, когда эти метки одинаковые; но поскольку по нашей схеме они не являются соседями, их метки могут быть различными. В этом случае как раз обнаружилось, что две различные метки использовались для различных частей одной компоненты

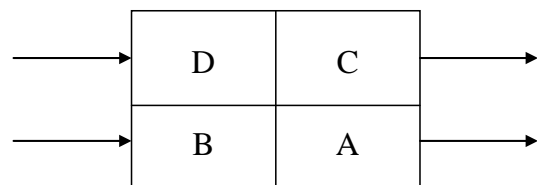


Рис. 1 – Алгоритм идентификации элементов видеоизображения интерференционной полосы

изображения. Они соединяются через точку (A). В этот момент необходимо указать, что две метки эквивалентны, и использовать одну из них для (A). Таким образом удастся обеспечить последовательный характер алгоритма.

В конце просмотра данные, относящиеся ко всем частям с эквивалентными метками, необходимо объединить. Если же лишь накапливаются суммы для расчета нулевого, первого и второго моментов, можно избежать и этого шага. Достаточно сложить суммы, до сих пор относившиеся к двум различным компонентам, и продолжать накопления в этих объединенных суммах.

Если мы хотим обозначить области едиными метками, необходимо сделать второй просмотр изображения, присваивая каждой области метку – представителя того класса эквивалентности, которому принадлежит ее исходная метка.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что обработка изображения в общем случае заключается в выполнении какого-либо преобразования указанной матрицы, в результате которого формируется набор ее числовых характеристик или новое, обработанное изображение. Преобразование может касаться значений элементов или их координат (индексов), выполняться над матрицей в целом, группой элементов или над каждым элементом в отдельности.

Такая обработка получила название поэлементного преобразования изображений [9]. Она переводит значение каждого элемента (f) в новое значение (g) в соответствии с заданной функциональной зависимостью

$$g = g(f). \quad (2)$$

При практической реализации поэлементных преобразований можно непосредственно вычислять каждое значение преобразованного элемента в соответствии с конкретным видом функции. Очевидными преимуществами такого подхода являются высокое быстродействие и гибкость процедуры обработки, недостатком же является приближенность результатов из-за ограниченного числа строк таблицы.

Несмотря на простоту, метод поэлементных преобразований позволяет решить довольно много прикладных задач улучшения качества и анализа изображений. Рассмотрим некоторые из них.

Вариация яркости изображения поверхности подложек методом линейного контрастирования. Чтобы использовать методы оптимальной фильтрации, необходимо оценить энергетические спектры обрабатываемых изображений, т. к. основная часть энергии приходится на низкие частоты. Наблюдаемое уменьшение энергии с ростом частоты частично обусловлено тем фактом, что многие объекты или их части непроницаемы и обладают почти равномерной яркостью. Соответствующие участки изображения отделяются перепадами яркости.

Рассмотрим пример простого прямоугольного участка:

$$F(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } |x| \leq W \text{ и } |y| \leq H; \\ 0 & \text{при } |x| > W \text{ или } |y| > H. \end{cases} \quad (3)$$

Преобразование Фурье такой функции имеет вид:

$$F(u, v) = WH \sin(uW) \sin(vH) / (uWvH). \quad (4)$$

Сдвиг участка приводит к изменению лишь фазы, а не амплитуды преобразования (что особенно важно в нашем случае, поскольку в нашем случае информативной является именно амплитуда). Без учета колебаний, видно, что преобразование затухает как $1/(uv)$.

Таким образом, в зависимости от выбора направления в частной области, затухание будет пропорционально либо $(1/p)$, либо $(1/p^2)$, где p – расстояние от начала координат.

Другой полезной составной частью модели изображения мог бы стать круговой участок:

$$F(r) = \begin{cases} 1 & \text{при } r \leq R; \\ 0 & \text{при } r > R; \end{cases} \quad (5)$$

В этом случае преобразование описывается функцией $F(p) = 2R^2 J_1(pR)/(pR)$. При больших значениях аргумента функция $J_1(z)$ изменяется по закону $\sqrt{2/(\pi z)} \sin(z - \pi/4)$, поэтому если пренебречь колебаниями, то $F(p)$ с ростом (p) убывает как $1/p^{3/2}$.

Энергетические спектры моделей изображений, содержащих многоугольные или круговые участки, как правило, затухают пропорционально некоторой степени частоты. На высоких частотах реальные изображения затухают еще сильнее, что обусловлено ограничением разрешающей способности системы [9].

Другое приложение того обстоятельства, что основная часть энергии изображений приходится на низкие частоты, можно найти в сфере воспроизведения изображений. При воспроизведении изображений важна различимость небольших перепадов яркости. Если говорить о качестве воспроизведения, то прежде всего нас интересует отношение самого яркого уровня к самому темному. Даже значительные перепады яркости между соседними областями могут оказаться незаметными, если сами области очень ярки. Важна относительная величина перепада, т. е. отношение разности яркостей к меньшей из них. Именно поэтому динамический диапазон измеряется отношением самого яркого уровня к самому темному, а не их разностью.

Чтобы из-за насыщения не утратить деталей на сильно освещенных и затененных участках, динамический диапазон необходимо сжать. Подобное сжатие можно осуществить с помощью показательной функции. Если яркость исследуемой поверхности описывается функцией: $b'(x, y)$, а оригинала – функцией: $b(x, y)$, то $b'(x, y) = [b(x, y)]^y$, где $0 < y < 1$.

Другой подход состоит в использовании того обстоятельства, что изображения, вводимые в компьютер, часто являются малоконтрастными, то есть у них вариации функции яркости малы по сравнению с ее средним значением. Реальный динамический диапазон яркостей $[f_{min}, f_{max}]$ для таких изображений оказывается намного меньше допустимого диапазона (шкалы яркости). Задача контрастирования заключается в «растягивании» реального динамического диапазона на всю шкалу. Контрастирование можно осуществить при помощи линейного поэлементного преобразования:

$$g = af + b. \quad (6)$$

Параметры этого преобразования (a , b) нетрудно определить, исходя из требуемого изменения динамического диапазона. Если в результате обработки нужно получить шкалу $[g_{min}, g_{max}]$, то, как следует:

$$g_{min} = af_{min} = b, \quad (7)$$

$$g_{max} = af_{max} = b. \quad (8)$$

При диалоговой обработке изображений иногда проще не определять параметры преобразования, а непосредственно строить его в табличной форме, ориентируясь на границы распределения вероятностей функции яркости [9].

Преобразование полутонового изображения поверхности подложки методом пороговой обработки. Некоторые задачи обработки изображения связаны с преобразованием полутонового изображения (то есть такого, которое имеет много градаций яркости) в бинарное (двухградационное). Такое преобразование осуществляется в первую очередь для того, чтобы сократить информационную избыточность изображения, оставить в нем только ту информацию, которая нужна для решения конкретной задачи. В бинарном изображении должны быть сохранены интересующие нас детали (например, очертания изображенных объектов) и исключены несущественные особенности (фон) [10].

Трудно точно измерить яркость изображения, вызванного шумом. Для этого введем понятие случайной величины и плотности распределения вероятности. На результаты измерений влияют флуктуации в измеряемом сигнале. При повторном измерении результаты могут оказаться несколько другими. Обычно они располагаются около «истинного» значения. Можно говорить о вероятности попадания результата измерения в определенный интервал. Иными словами, она соответствует пределу отношения числа измерений, попадающих в этот интервал, к общему числу испытаний при стремлении последнего к бесконечности. По мере возрастания плотности отсчетов эти интервалы можно сделать все меньше и меньше при условии сохранения точности каждого из индивидуальных измерений.

Теперь мы можем определить плотность распределения вероятности, обозначаемую через $p(x)$. Вероятность того, что случайная величина будет больше или равна x , но меньше $(x + \delta x)$, стремится к $p(x)\delta x$, при стремлении (δx) , к нулю. Здесь имеется трудность, заключающаяся в том, что для фиксированного числа испытаний число результатов, попавших в интервал, будет стремиться к нулю при стремлении интервала к нулю. Ее можно обойти путем рассмотрения функции распределения вероятности. Плотность распределения можно приближенно найти на основе гистограммы, полученной на основе конечного числа испытаний. Из нашего определения следуют два важных свойства для любой плотности распределения вероятности $p(x)$:

$$p(x) > 0 \text{ для всех } (x) \text{ и } \int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx = 1. \quad (9)$$

Часто плотность распределения вероятности имеет ярко выраженный пик вблизи «истинного» или «ожидаемого» значения. Соответственно мы можем определить среднее как центр площади (μ) этого пика согласно соотношению:

$$\mu \int_{-\infty}^{\infty} p(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx, \quad (10)$$

В случае непрерывного изображения мы можем определить плотность распределения яркости $p(x)$.

При малых величина $p(x) \delta x$ – доля той части изображения, в которой яркость больше или равна (x) , но меньше $x+\delta x$. Интегрирование дает интегральную функцию распределения яркости $P(x)$. Для заданного значения (x) величина $P(x)$ – доля той части изображения, в которой яркость меньше или равна (x) :

$$P(x) = \int_0^x p(t)dt. \quad (11)$$

Поскольку трудно измерить освещенность с большой точностью, для представления уровней освещенности разумно использовать небольшой набор градаций. Часто используется диапазон 0-255, требующий лишь 8 бит для представления любого уровня. В нашем случае он равно 64.

Обработка полутоновых изображений методом порогового разделения. Пороговая обработка полутонового изображения заключается в разделении всех элементов изображения на два класса по признаку яркости, то есть в выполнении поэлементного преобразования.

При выполнении пороговой обработки основной вопрос состоит в выборе порога. Пусть полутоновое изображение содержит интересные нас объекты одной яркости на фоне другой яркости (типичные примеры: машинописный текст, чертежи, медицинские пробы под микроскопом и т. д.). Тогда в идеале плотность распределения яркостей должна выглядеть как две дельта-функции). В данном случае задача установления порога тривиальна: в качестве порога можно взять любое значение между «пиками». На практике, однако, встречаются определенные трудности, связанные с тем, что, во-первых, изображение искажено шумом и, во-вторых, как для объектов, так и для фона характерен некоторый разброс яркостей. В результате пики функции плотности распределения «расплываются», хотя обычно ее бимодальность сохраняется.

В рассматриваемом методе вместо яркости сегментацию изображения производят на основе текстуры. Чтобы сделать это, необходимо каждому пикселю сопоставить величину текстуры.

Обычно вычисление величины текстуры для данного пикселя основывается на рассмотрении соседних с ним элементов изображения. Так, в качестве простой оценки подобного рода можно использовать стандартное отклонение яркости соседних пикселей [10]:

$$A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}{N-1}}, \quad (12)$$

где N – число пикселей; x_i – множество значений яркости в них.

Из рассмотренных методов данный метод является наиболее подходящим для идентификации интерференционной полосы.

Выводы. В ходе проведенного исследования выполнен обзор и анализ существующих методов обработки изображений для разработки метода

автоматизированного контроля шероховатости поверхности функциональных подложек для изделий электронной техники.

Разрабатываемая авторами технология автоматизированного контроля шероховатости поверхности подложек основана на применении интерференционного метода.

Из рассмотренных методов обработки видеоизображений интерференционной полосы поверхности подложки наиболее подходящей для решения поставленных задач и соблюдения сформированных требований к системе контроля является обработка полутоновых изображений методом порогового разделения.

Список литературы: 1. Дудин-Барковский, И. В. Измерение и анализ шероховатости поверхности и некруглости поверхности [Текст] / И. В. Дудин-Барковский, А. И. Карташева. – М. : Машиностроение, 1978. – 320 с. 2. Табенкин, А. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт [Текст] / А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов, С. Н. Степанов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 136 с. 3. Невлюдов, И. Ш. Технология автоматизированного контроля качества поверхности [Текст] / И. Ш. Невлюдов, Е. П. Второв, В. В. Токарев // Вестник Харьковского экономического университета. – 1998. – Вып. 1. – С. 86–88. 4. Васильков, Д. В. Программная реализация комплекса контактно-щупового контроля микрогеометрии функциональных поверхностей [Текст] / Д. В. Васильков, А. В. Платонов // Инструмент и технологии. – 2006. – № 23. – С. 58 – 71. 5. Ковязин, Р. Р. Двумерное восстановление фазы интерферограмм [Текст] / Р. Р. Ковязин // Проблемы когерентной и нелинейной оптики. – СПб. – 2000. – С. 267 – 275. 6. Невлюдов, И. Ш. Анализ методов контроля шероховатости подложек для изделий электронной техники [Текст] / И. Ш. Невлюдов, И. В. Жарикова, И. Д. Перепелица, А. Г. Резниченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 2, № 5 (68). – С. 25–30. 7. Невлюдов, И. Ш. Методика автоматизированного контроля шероховатости функциональной поверхности подложек для приборов электронной техники [Текст] / И. Ш. Невлюдов, Е. П. Второв, С. П. Новоселов, А. Г. Резниченко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2008. – Вып. 4 (55). – С. 62–68. 8. Мошкин, В. И. Техническое зрение роботов [Текст] / В. И. Мошкин, А. А. Петров, В. С. Титов, Ю. Г. Якушенков. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. 9. Сойфер, В. А. Компьютерная обработка изображений. Часть 2. Методы и алгоритмы [Текст] / В. А. Сойфер // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 3. – С. 110–121. 10. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Bibliography (transliterated): 1. Dudin-Barkovskiy, I. V. (1978). Measurement and Analysis of a Surface Roughness and not roundness. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 320. 2. Tabenkin, A. N., Tarasov, S. B., Stepanov, S. N. (2007). Roughness, Sinuosity, Profile. International Experience. St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic University, 136. 3. Nevliudov, I. Sh., Vtorov, E. P., Tokarev, V. V. (1998). Technology of the Automated Surface Quality Testing. Messenger of the Kharkov economic university, № 1, 86 – 88. 4. Vasil'kov, D. V., Platonov, A. V. (2006). Program realization of a contact probe complex for functional surfaces microgeometry testing. Instrument i tehnologii, № 23, 58 – 71. 5. Nevliudov, I. Sh., Zharikova, I. V., Perepelitsa, I. D., Reznichenko, A. G. (2014). The analysis of the electronic devices substrates roughness testing methods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 2/5 (68), 25 – 30. 6. Koviazin, R. R. (2000). Two-dimensional restoration of a interferograms phase. Problems of coherent and nonlinear optics. St. Petersburg, Russia. 267 – 275. 7. Moshkin, V. I., Petrov, A. A., Titov, V. S., Jakushenkov, Ju. G. (1990). Technical vision of robots. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 272. 8. Sojfer, V. A. (1996). Computer processing of images. Part 2. Methods and algorithms. Soros Educational Journal, №3, 110 – 121. 9. Gonsales, R., Vuds, R. (2005). Digital processing of images. Moscow: Technosphere, 1072.

Поступила (received) 12.05.2014

О. М. МАРКІНА, асистент, НТУУ "КПІ", Київ;

М. О. МАРКІН, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ

АЛГОРИТМИ ПОКРАЩЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ

Представлено огляд похибок, що впливають на якість тепловізійного зображення. Показано, що використання псевдокольорового тепловізійного зображення замість монохромного дозволяє забезпечити краще сприйняття для аналізу зображення оператором. Представлено сучасні методи обробки телевізійних зображень, що можуть бути використані в тепловізійному - телевізійному каналі спостереження.

Ключові слова: зображення, інфрачервоний діапазон, телевізійна вимірювальний канал, тепловізійний вимірювальний канал.

Вступ. Уникнення виявлення бойової машини, пов'язане головним чином з силуетом машини, загальною видимістю і помітністю як у видимому спектрі, так і в ІЧ-області і радіолокаційному спектрі частот. У видимому спектрі застосовується спеціальне деформуюче забарвлення, маскуючі покриття, архітектура зразка, що знижує ефективну поверхню розсіювання, теплове екранування даху силового відділення і ходової частини. Ці заходи здатні дати задовільні результати щодо виявлення по ІЧ-випромінюванню і відбиттю радіолокаційного випромінювання. Але виявити противника навіть при всіх його зусиллях можливо.

Таким чином можна зробити висновок, що існує необхідність створення нових алгоритмів та методів обробки зображення, які дозволяють суттєво зменшити вплив фону (шумів), розмитості та покращити контрастність зображення і, завдяки цьому, підвищити виявну здатність тепловізійного-телевізійного каналу спостереження. Цим і обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

Аналіз літературних джерел. Поява в 90-х роках минулого століття неохолоджуваних матричних приймачів випромінювання (МПВ), які працюють в інфрачервоному діапазоні спектра, привела до революційних змін у розвитку теплобачення.

Переваги тепловізорів цього покоління полягають у відсутності оптико-механічної системи сканування і криогенної системи охолодження, що призводить до значного зниження вартості тепловизора, менших розмірів, ваги і енергоспоживання.

Незважаючи на переваги цього покоління тепловізорів, вони, на жаль, мають певні вади. Тепловізори з повноформатними МПВ характеризуються специфічними видами спотворень, які пов'язані з двовимірною дискретизацією зображення і неповним заповненням пікселя чутливою площиною.

Одним з основних факторів, який обмежує принципово досяжні параметри тепловізорів з МПВ, пов'язаний з особливостями дискретної структури МПВ. Для усунення оптичного зв'язку між пікселями відстань між сусідніми пікселями

повинна перевищувати робочу довжину хвилі. Якість зображення, яке формує тепловізор на екрані дисплея, залежить від просторової і енергетичної роздільної здатності [1]. Зображення в площині МПВ, яке сформоване об'єктивом, в процесі перетворення в електричний сигнал за допомогою дискретного приймача випромінювання (ПВ) зазнає спотворення. Частина потоку випромінювання, яка падає на чутливу площадку пікселя, усереднюється в межах його площадки, а друга частина потоку, яка падає на зазори між чутливими площадками, не бере участі у формуванні корисного електричного сигналу. Відбувається втрата енергії випромінювання, яка не може бути компенсована обробкою сигналів в аналоговій або цифровій формі.

Просторова роздільна здатність залежить насамперед від геометричних розмірів пікселів і періодів МПВ, а також від аберацій об'єктива, смуги пропускання електронного тракту, розміру елемента розкладу зображення на екрані дисплея.

Технічні засоби реєстрації оптичного випромінювання і перетворення його в електричні сигнали є спільними як для телевізійних, так і для тепловізійних матриць, що дає можливість застосовувати в тепловізорах сучасні алгоритми обробки телевізійних зображень. Ці фактори значно розширюють сфери використання тепловізійних систем у військовій справі та різних галузях науки і техніки.

Постановка задачі. Однією з основних характеристик оптико-електронних тепловізійних систем спостереження, що визначають ефективність вирішення цільових завдань оператором, є якість сформованого зображення. При цьому якість зображення в значній мірі пов'язана з його роздільною здатністю, а також точністю відображення меж (країв) об'єктів інтересу.

Збільшення роздільної здатності тепловізійних систем спостереження можливо здійснювати апаратними, програмними та апаратно-програмними методами. Розвиток сучасної мікроелектроніки дозволяє успішно застосовувати програмні методи збільшення роздільної здатності.

Цифровій обробці зображень присвячена велика кількість робіт. Тим не менш, у даний час в тепловізійних системах спостереження для поліпшення якості не застосовуються методи збільшення роздільної здатності, засновані на методах суперроздільної здатності та аналізі ситуації, що спостерігається. Відновлення цих меж на основі традиційного використання, наприклад, високочастотних фільтрів, не завжди дозволяє, отримувати бажані результати, або взагалі може призвести до спотворення форми отриманих ліній по відношенню до дійсних (ідеальних) меж зображень об'єктів.

Практично в кожному тепловізійному приладі є системи, що здійснюють коригування недоліків зображення, яке надходить з фото-приймального пристрою (ФПП). Одним із способів коригування, застосовуваних в більшості приладів, є так звана двоточкова корекція, коли дефектні елементи (ДЕ) приймача за умови виведення зображення в реальному часі заміщають сусіднім лівим елементом.

Зокрема, нами розглядалися такі особливості приймачів, що впливають на якість зображення, як розкид характеристик фоточутливих елементів і

дефектність елементів ФПУ (вибиті пікселі).

Всі перелічені методи, що використовувались у роботах [1-5] мають ряд недоліків. Таким чином, є необхідність вироблення універсальних алгоритмів підвищення якості зображення, одержуваного тепловізійними приладами з ФПУ на основі матриць.

Завдання будь-якої системи, що формує зображення, полягає у створенні різкого, чистого зображення, вільного від шумів і спотворень. Якщо на зображенні необхідно виділяти важливі деталі, розмір яких близький до тривалості імпульсної характеристики, то необхідно збільшувати роздільну здатність.

Так, наприклад, з тепловізійної системи літаків і вертольотів приходять знімки досить хорошої якості, але оператори, які вивчають їх, завжди намагаються побачити на них об'єкти спотворені в силу обмеження роздільної здатності камер. По-друге, зображення можуть бути зіпсовані через певний збіг обставин зйомки.

Усунення спотворень належить до завдань відновлення (підвищення різкості) зображень. У теорії та практиці проектування тепловізійних систем важливу роль відіграє моделювання тепловізійних зображень. Яскравість тепловізійних зображень залежить як від розподілу температури по поверхні спостережуваного об'єкта, так і від коефіцієнта випромінювання і орієнтації чутливих елементів його поверхні - його форми. Крім того, якість тепловізійного зображення залежить від передавальних характеристик приймача і всіх ланок тепловізора. Дослідження показали, що тепловізійне зображення -це носій великої кількості інформаційних параметрів. Обробка цих параметрів залишається дотепер складним завданням. Головна відмінність - інформація, закладена в тепловізійних зображеннях, носить в основному статистичний (імовірнісний) характер.

Серед них слід відзначити такі:

- зашумленість корисних сигналів адитивними похибками;
- недостатню контрастність зображень;
- наявність геометричних спотворень у структурі зображення;
- нестационарний характер інформаційної насиченості корисних сигналів;
- прояв специфічних шумів мультиплікативного характеру, пов'язаних з флуктуаціями випромінювально-поглинаючих властивостей виявляються і у досліджуваних об'єктах.

Наслідком зазначеного є те, що при автоматизованій цифровій обробці тепловізійних зображень найчастіше необхідно застосовувати імовірнісні методи.

Основні методи та алгоритми автоматизованої цифрової обробки тепловізійних зображень включають в себе: низькочастотну фільтрацію шумів; нелінійну фільтрацію (спектральну або гомоморфну обробку); виділення контуру об'єкта із збереженням меж його внутрішніх областей; рекурсивне відновлення внутрішньої структури об'єктів; зжимання зображень, елементи розпізнавання на основі обробки статистичних параметрів.

На сьогодні практично відсутні дані при стисненні тепловізійних зображень, спотворених мультиплікативним шумом. Необхідність корекції і ослаблення

впливу цих факторів на тепловізійне зображення, стиснення при їх передачі по каналах зв'язку є в даний час важливим завданням, що вимагає її вирішення.

Проблеми використання цифрової обробки тепловізійних зображень. Отже, можна виділити наступні важливі проблеми в області цифрової обробки тепловізійних зображень, вирішення яких поліпшить якість останніх:

- створення нових оптимальних методів низькочастотної і нелінійної фільтрації шумів;
- фільтрація шумів і сегментування з використанням математичного апарату нечіткої логіки;
- розробка високоефективних (за швидкістю і якістю) методів попередньої обробки і сегментації зображень;
- створення методів виділення контуру об'єкта зі збереженням кордонів областей та рекурсивним відновленням внутрішньої структури;
- розробка ефективних методів стиснення зображень;
- розробка методів виділення і розпізнавання об'єктів зображень.

Шляхи розробки алгоритмів покращення якості зображень у інфрачервоному діапазоні. Пропонуємо наступні шляхи розробки алгоритмів покращення якості зображень у інфрачервоному (ІЧ) діапазоні з метою підвищення вірогідності виявлення цілі.

Покращення розпізнавання об'єкту за створенням бази типових тепловізійних зображень зразків військової техніки (танк, бронетранспортер, вантажна або легкова машина, гармата тощо).

Тому одним із шляхів наукових досліджень і розробок в області ІЧ спостережень є набір статичних даних за ознаками типових тепловізійних картин характерних для певного типу транспортних засобів.

Термограма – це схема елементів зображення з зареєстрованими в них інтенсивностями, що відповідають розподілу температури в системі [1]. Транспортний засіб є структурно складною системою, що має змінні властивості. Опис температурного поля можна здійснити за допомогою тризонної моделі Дж. Мілсума [2]. За цією моделлю першу зону утворюють внутрішні прилади та елементи найбільшого нагріву транспортного засобу. До другої зони входять прилади та всі внутрішні елементи, що знаходяться у бойовій машині. Третьою зоною є кузов, броня та камуфляж бойової машини.

Таким чином розподіл та інтенсивність власного інфрачервоного випромінювання бойової машини визначаються особливістю динамічних процесів, що відбуваються з бойовою машиною.

Практична реалізація різних методів відновлення зображень включає в себе оцінку параметрів спотворення. Одним з практичних методів створення допоміжної інформації є метод сліпої деконволюції. Але цей метод ефективний при наявності деякої послідовності записаних зображень $\{g_m(x, y), m = 1, 2, \dots, M\}$. Зображення послідовності $\{f_m(x, y), m = 1, 2, \dots, M\}$ слід розглядати як такі, що належать до одного класу, тобто при всіх своїх відмінностях мають спільні характеристики. Для порівняння необхідно мати набір еталонних зображень, які ми знімаємо з транспортного засобу $\{\tilde{f}(x, y), m = 1, 2, \dots, M\}$. Ці два набори зображень можуть відрізнитись один від одного, але статичні (геометричні) данні

про бойову машину повинні бути подібними. Оцінка оптичної передаточної функції $|\tilde{H}(v_x, v_y)|$ для $|H(v_x, v_y)|$, що є перетворенням Фур'є функції розсіювання точки $h(x, y)$ здійснюється у вигляді [3]:

$$|\tilde{H}(v_x, v_y)| = \left(\frac{\langle |G_m(v_x, v_y)|^2 \rangle}{\langle |\tilde{F}_m(v_x, v_y)|^2 \rangle} \right)^{1/2} \quad (1)$$

Суть методу сліпої деконволюції полягає в наступному. У процесі спотворення кожен піксель вихідного зображення перетворюється на пляму для випадку розфокусування і в відрізок для випадку простого змазування. Те, за яким законом розмазується або збирається один піксель і називається функцією спотворення або функцією розподілу точки (point spread function PSF). Типові спотворюючі функції представлено на рисунку 1 та рисунку 2. Для моделювання використовуємо програму Matlab.

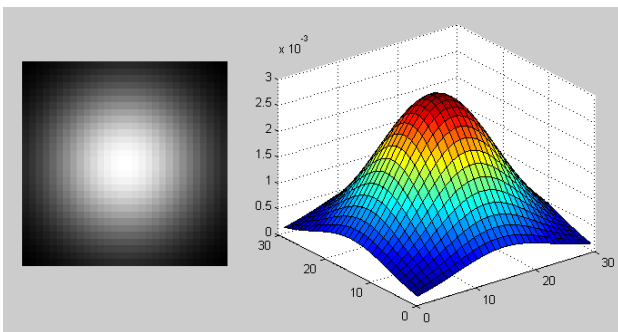


Рис. 1. – PSF у випадку розмиття за Гаусовою функцією

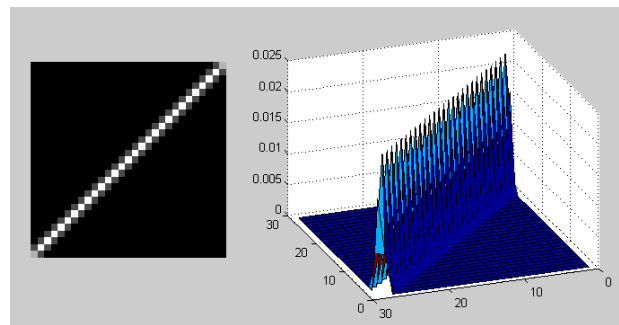


Рис. 2. – PSF у випадку змазування функцією fspecial

Математично для зображення f_c розмірами $M \times N$ і спотворюючої функції h_c розмірами $m \times n$ це записується формулою

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j) f(x+i, y+j), \quad (2)$$

де $a = (m - 1)/2$; $b = (n - 1)/2$.

Операція, зворотна згортанню, називається деконволюцією і рішення такої задачі досить нетривіальне. Метод сліпої деконволюції передбачає, що PSF функція відома лише приблизно за характером видимих спотворень. Принцип досить простий - обирається перше наближення PSF, далі одним з методів робиться деконволюція, після чого за певними критеріями визначається ступінь якості, на основі якої уточнюється функція PSF і ітерація повторюється до досягнення потрібного результату.

Покращення сприйняття оператором кольорової гами зображення також впливає на якість зображення. Існує два аспекти кольору: фізична величина і зорове відчуття [4]. Існує два способи сприйняття кольору. Перший суб'єктивний характеризується світлотою, колірним тоном та насиченістю. При об'єктивному оцінюванні кольору світлоту приймають за яскравістю L , колірний тон за домінуючою довжиною хвилі λ , насиченість за чистотою кольору p [5, 6]. Колір

є тривимірною величиною, тому за основу представлення кольорів візьмемо систему RGB.

Сприйняття кольору оператором є важливим фактором, що сприяє ранньому виявленню та правильному розпізнаванню цілі. Такі дослідження проводились вченими в різних країнах. Пропонуємо використовувати такі кольори: білий, сірий, чорний, синій, голубий, зелений, салатний, жовтий, помаранчевий

Останнім часом для вилучення імпульсних завад широко використовуються медіанні фільтри, який являє собою ковзне вікно, що зазвичай охоплює непарну кількість вибірок N аналогового сигналу $\xi(t)$.

Найпростішим, за визначенням, є одновимірний медіанний фільтр із тривідрахунковим вікном. Для цього фільтра сформульовані основні принципи апаратної реалізації, але для фільтрів вищих порядків вона виявляється дуже складною. Програмна реалізація виявляється суттєво простішою, оскільки для цифрових біполярних сигналів значення вихідного сигналу дорівнює арифметичній сумі. Для реалізації алгоритму швидкого оброблювання значень медіанним фільтром необхідно здійснити ряд дій:

- сформувати матрицю F_0 для перших N зареєстрованих значень згідно вибраної апертури фільтра;
- розрахувати значення F_{0j} для кожного зі стовпчиків матриці F_0 ;
- вибрати необхідне значення з перших N зареєстрованих;
- для матриці F_n визначити значення $F_{(n+j)(n+N-1)}$ та $F_{(n+N-1)(n+j)}$ при $0 \leq j < N$;
- з попередньо розрахованих значень $F_{nj \pm 1}$ вилучити значення $F_{(n-1)(n+j)}$ та $F_{(n+j)(n-1)}$
- до стовпчика $F_{(n+j)}$ матриці F_n додати значення $F_{(n+j)(n+N-1)}$.

Дії продовжуються до тих пір, поки всі значення не будуть оброблені. Такий алгоритм дозволяє у випадку необхідності замість середнього вибрати інший ранжований елемент від мінімального до максимального і може бути достатньо просто реалізований на будь-якому процесорі, в тому числі і на однокристальних мікроконтролерах.

Якщо тепловізійний пристрій апаратно сформований, то для підвищення інформативності зображень та покращення їх якості є сенс застосовувати "конструктивно-неінвазивні" засоби обробки сигналів, сформованих фотоматрицею, а саме:

- методику перетворення МПВ двовимірного зображення в дискретну форму, що дає можливість отримати передавальну функцію приймача, яка враховує розміри пікселя, формат матриці і фактор її заповнення чутливими елементами;
- методику збільшення роздільної здатності зображень програмними методами;
- алгоритмів, спрямованих на виявлення дефектних елементів матриці, що позбавляє зображення артефактів;
- алгоритмів цифрової обробки сигналів, що дозволяють здійснювати стиснення та сегментацію зображень, нелінійну фільтрацію шумів.

Важливим елементом на шляху підвищення розпізнавання тепловізійних зображень є використання кольорових палітр, особливо висококонтрастних. Також слід зазначити, що якість зображення великою мірою залежить від параметрів оптичних вікон тепловізійного пристрою. Вікна мають бути механічно стійкими, однорідними за своїми оптичними параметрами, характеризуватись мінімальними значеннями власного теплового випромінювання. З ціллю зменшення негативного впливу власного випромінювання вікон, можливо застосовувати стабілізацію їх температури.

Висновки

1. Наведено огляд похибок, що впливають на якість тепловізійного зображення.

2. Показано, що використання псевдокольорового тепловізійного зображення замість монохромного дозволяє забезпечити краще сприйняття для аналізу оператором. Враховуючи індивідуальні емоційні характеристики людини-оператора, необхідно забезпечити можливість ручного вибору кольорової гами тепловізійного зображення.

3. Сучасні методи обробки тепловізійних зображень можуть бути використані в тепловізійному - тепловізійному каналі спостереження. При цьому такий фільтр як окремий блок може бути розташований між покупним тепловізором та телевізором. На вхід цього блоку поступають сигнали тепловізора, а після обробки зображення формуються на тепловізійному дисплеї.

Список літератури: 1. Уэбб, С. Физика визуализации изображений в медицине [Текст] / С. Уэбб // Мир. – Москва: 1991. 2. Розенфельд, Л. Г. Основы клинической дистанционной термодиагностики [Текст] / Л. Г. Розенфельд // Здоровье. – Киев: 1988. – С. 224. 3. Бейтс, Р. Восстановление и реконструкция изображений [Текст] / Р. Бейтс, М. Мак-Доннел // Мир. – Москва: 1989. – С. 336. 4. Середенко, М.М. Представление цвета в искусственно созданных цветовых схемах и в психофизике человека [Текст] / М. М Середенко, А.Е Якунинская // Оптический журнал. - 2000. - Т. 67, №8. – С. 3-13. 5. Бехтір, О. В. Застосування сучасних інформаційних технологій забезпечення точного дозування світлового потоку при латеральній світло терапії / О. В. Бехтір // Наукові праці КМАПО: «Інформаційні технології в охороні здоров'я та практичній медицині». – 2001. – С. 21-24. 6. Міхеєнко, Л. А. Оцінка величини ефективного засвічування при латеральній світлотерапії / Л. А. Міхеєнко, О. В. Бехтір // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2000. - №2. – С. 89-91.

Bibliography (transliterated): 1. Uebb, S. (1991). Fizika vizualizacii izobrazhenij v medicine. Mir. Moskva. 2. Rozenfeld, L. G. (1988). Osnovy klinicheskoj distancionnoj termodiagnostiki. Zdorove. Kiev, S. 224. 3. Bejts, R., Mak-Donnel, M. (1989). Vosstanovlenie i rekonstrukciya izobrazhenij. Mir. Moskva, 336. 4. Seredenko, M. M., Yakuninskaya A. E. (2000). Predstavlenie cveta v iskusstvenno sozdannyx cvetovyx sxemax i v psixofizike cheloveka. Opticheskij zhurnal, 67, 8, 3-13. 5. Bextir, O. V. (2001). Zastosuvannya suchasnix informacijnix texnologij zabezpechennya tochnogo dozuvannya svitlovogo potoku pri lateralnij svitlo terapii. Naukovi pracі KMAPO: «Informacijni texnologii v oxoroni zdorov'ya ta praktichnij medicini», 21-24. 6. Mixeenko, L. A., Bextir, O. V. (2000). Ocinka velichini effektivnogo zasvichuvannya pri lateralnij svitloterapii. Naukovi visti NTUU «KPI», 2, 89-91.

Надійшла (received) 25.05.2014

М. В. ТОРЧУК, ассистент, ХНТУСХ им. Петра Василенко, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ В МОЛОЗИВЕ КОРОВ

На сохранение новорожденных телят в первые дни жизни особенно влияет количество иммуноглобулина в молозиве и молоке коров. Иммуноглобулины выполняют ведущую роль в гуморальном иммунитете, их уровень отражает функциональную активность В-лимфоцитов. Поэтому для увеличения иммуноглобулинов в молозиве и молоке новотельных коров были проведены исследования по определению биотропных параметров импульсного электрического поля для воздействия на молочную железу новотельных коров с целью увеличения иммуноглобулинов класса LgG и LgM в молозиве и молоке

Ключевые слова: молочная железа коров ; импульсы электрического поля; молозиво и молоко коров; иммуноглобулины.

Введение. За последние годы сложились условия, при которых телята рождаются часто ослабленными, с низкой живой массой и недостаточной жизнеспособностью. Экономический ущерб, наносимый сельскому хозяйству болезнями телят, складывается из снижения их продуктивности, непроизводительных затрат на лечение, прирезки и падежа заболевших. Например, у переболевших телят бронхопневмонией среднесуточный прирост живой массы в период заболевания и в период последующего месяца снижается на 40 – 50%. а у перенесших желудочно-кишечные заболевания в течение 3–5 дней – на 20–25%. На заболевания желудочно-кишечного тракта приходится 45–60 % .

Самые высокие потери телят бывают до 15-дневного возраста первого года жизни. К основным причинам, на которые приходится 65 – 80% гибели телят, относятся : неудовлетворительные условия развития плода последние 1,5–2 мес. перед отелом; нарушение режима, времени, количества и качества выпаиваемого молозива[1].

Важнейшая функция молозива состоит в обеспечении плавного перехода от внутриутробного развития и питания веществами, поступающих с кровью матери, к автономному питанию и развитию в условиях внешней среды. . На сохранение новорожденных телят в первые дни жизни особенно влияет количество иммуноглобулина в молозиве коров. Иммуноглобулины выполняют ведущую роль в гуморальном иммунитете их уровень отражает функциональную активность В-лимфоцитов[2].

За последнее время в медицине и ветеринарии все большее внимание привлекают электромагнитные методы повышения иммуноглобулинов в молоке матерей и молозиве коров. В связи с чем возникает необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров импульсного излучения для повышения иммуноглобулина в молозиве коров при облучении их вымени.

Анализ предшествующих исследований. Уникальные возможности информационных импульсных ЭМП нашли широкое применение в медицинской практике [3-6]. Высокая эффективность волн КВЧ диапазона для восстановления и поддержания гомеостаза живых организмов связана с тем, что используемые сигналы импульсного характера имитируют сигналы, генерируемые в тех же целях самим организмом.

Эффективность ЭМ-терапии зависит от множества факторов, множество которых невозможно учесть. Однако, можно выделить основные факторы, которые фиксируются в процессе ЭМ-терапии. Это импульсный характер ЭМИ, период следования импульсов – десятки мс, длительность импульсов – единицы мкс, амплитуда импульсов составляет (1-5)кВ. Что касается экспозиции при ЭМ-терапии, то она составляет десятки мин, а иногда и несколько часов. Это связано с тем, что для этих целей применялись импульсные генераторы с относительной нестабильностью частоты следования импульсов в пределах $10^{-3}..10^{-4}$.

Следовательно, повышение иммуноглобулинов в молозиве и молоке новотельных коров будет определяться величиной биотропных параметров импульсного ЭП.

Цель статьи. Определить биотропные параметры импульсного электрического поля для повышения иммуноглобулинов в молоке и молозиве новотельных коров.

Изложение основного материала. При воздействии периодической последовательности электромагнитных видеоимпульсов на молочную железу возбуждается электрическое поле, напряженность которого в каждой точке можно оценить на основании усредненной по объему напряженности электрического поля. Эта величина, нормированная на среднюю величину напряженности электрического поля видеоимпульса, может быть представлена в следующем виде

$$\left| \frac{E_{cp}}{E_0} \right| = \frac{4Q}{\pi^3} \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin^2\left(\frac{\pi n}{Q}\right) \int_0^1 F_{0n}^+(x) x dx}{n^2 F_{0n}^+(1)} D_n \right|, \quad (1)$$

$$D_n = \frac{e^{-i\frac{2\pi n}{Q}}}{\bar{k}_n H_1^{(1)}(\bar{k}_n) + \bar{V}(1) H_0^{(1)}(\bar{k}_n)} + \frac{e^{i\frac{2\pi n}{Q}}}{-\bar{k}_n H_1^{(1)}(-\bar{k}_n) + \bar{V}(1) H_0^{(1)}(-\bar{k}_n)},$$

где $Q = T/\tau$ - скважность видеоимпульса, $\bar{k}_n = \frac{2\pi n}{Tc}$, c - скорость света в вакууме.

Функции F_{0n}^+ и \bar{V} определяются, соответственно, из выражений (2) и (3)[7]

$$F_{nm}^+ = \left(\frac{\bar{r}}{2}\right)^m \exp\left(\int_0^{\bar{r}} V(\bar{r}) d\bar{r}\right), \quad m \geq 0. \quad (2)$$

$$\bar{V}_{q+1} = -\frac{2F_q}{\bar{r}_q + \Delta\left(m - \frac{1}{2}\right) + \sqrt{\left(\bar{r}_q + \Delta\left(m - \frac{1}{2}\right)\right)^2 - 2\Delta F_q}}, \quad (3)$$

$$q = 1, 2, \dots, Q.$$

Как следует из (1), при увеличении скважности Q , усредненная напряженность электрического поля быстро стремится к нулю. Это справедливо и при стремлении скважности Q к величине π . Следовательно, должно существовать оптимальное значение скважности Q видеоимпульса, при котором усредненная напряженность электрического поля

принимает максимальное значение.

Для определения оптимальных значений параметров видеоимпульсов были проведены численные расчеты с помощью разработанных алгоритмов.

В рамках выбранной электродинамической модели молочной железы ее относительная диэлектрическая проницаемость ε является кусочно-постоянной функцией от пространственных переменных. В частотном диапазоне $70 \div 150$ кГц (ему соответствует интервал применения периода повторяемости видеоимпульса $T \ 6.6 \cdot 10^{-6} \div 1.4 \cdot 10^{-5}$) относительная диэлектрическая проницаемость принимает значения: для слоя кожи $\varepsilon_1 = 5.9 \div 7.9$; для слоя авеол $\varepsilon_2 = 40 \div 60$ (тангенс угла потерь изменяется в пределах $0,3 \leq tg \delta \leq 0,5$). При этих значениях диэлектрической проницаемости были проведены численные расчеты зависимости нормированной усредненной напряженности электрического поля от периода повторяемости T и скважности $Q = T/\tau$ видеоимпульсов. На Рис. 1 представлены результаты этих расчетов. Анализ этих результатов позволяет сделать вывод о том, что при значении скважности $Q \approx 110$ и периоде повторяемости $T = 1.1 \cdot 10^{-5}$ с - усредненная напряженность электрического поля достигает максимального значения $|E_{cp} / E_0| \approx 0,035$.

Для определения экспозиции и величины усредненной напряженности электрического поля воспользуемся выражением для наведенного потенциала на мембране клетки [8]. Это связано с тем, что физиологическая активность процессов в клетках определяется наличием наведенного электрического потенциала на мембранах клеток, но при этом следует учитывать, что его величина не должна превышать критическое значение, при котором произойдет разрушение мембраны [9]:

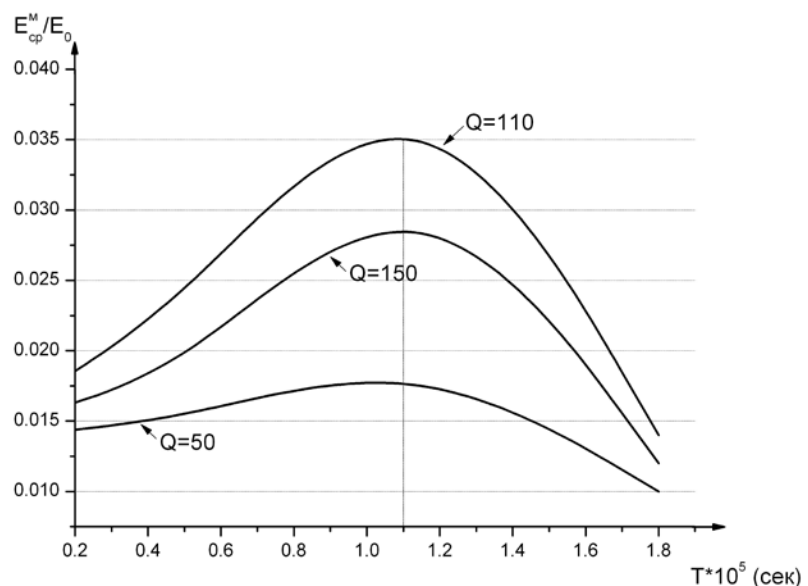


Рис. 1 – Зависимость нормированной напряженности электрического поля усредненной по объему молочной железы животных от величины периода следования видеоимпульсов для различных значений скважности

В рассматриваемом случае выражение для наведенного потенциала на мембранах клеток имеет вид [10]:

$$\varphi_{нав}^2 = \varphi_0^2 + F \cdot t \frac{C_0 V_0 g^2 C_S}{(4\pi \varepsilon_m \varepsilon_0 d)^2} \cdot e^{-\frac{F \varphi_0 \cdot g}{RT}} + P \frac{g C_S}{4\pi \varepsilon_m \varepsilon_0 \omega} E_{cp} \sin(\omega t + \psi) \quad (4)$$

где φ_0 – потенциал на мембране в начальный момент времени; P – проницаемость мембраны; t – время экспозиции; C_0, C_S – концентрации ионов внутри и вне клетки; V_0 – объем клетки в начальный момент времени; g – заряд иона; F – число Фарадея; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; e – заряд электрона; E_{cp} – усредненная напряженность электрического поля; U_m – амплитуда видеоимпульса; ψ – параметр учитывающий инерционность биообъекта [11].

Для расчетов были использованы данные, взятые из литературных источников [8-11].

$$\varphi_{кр} = 110 \text{ мВ}; \varphi_0 = 70 \text{ мВ}; d = 10^{-8} \text{ м}; \varepsilon_m = 2,1; \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}; \varphi_{кр} = 110 \text{ мВ};$$

$$P = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ с/м}^3; C_0 = 0,6 \frac{\text{мк моль}^{-1}}{\text{м}^3}; C_S = 2,0 \text{ мк моль}^{-1}/\text{м}^3; V_0 = 2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3; g = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ кл};$$

$$F = 96484,56 \frac{\text{к}}{\text{моль}}; R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}; T = 300^0 \text{ К}; U_m = 1 \text{ кВ}; E_0 = 22,72 \text{ В/м}; \psi = 0,6^0.$$

При проведении численных расчетов учитывалось, что наведенный потенциал равен $100 \text{ мВ} < \varphi_{кр} = 110 \text{ мВ}$. В результате расчетов было установлено, что экспозиция составляет $t = 20 \text{ с}$, а напряженность $E_{cp} = 0,79 \text{ В/м}$.

Выводы. Для повышения иммуноглобулинов в молозиве коров их молочную железу следует облучать импульсным ЭП с параметрами: амплитуда видеоимпульса $U_m = 1 \text{ кВ}$; длительность импульса 10^{-7} с ; скважность видеоимпульсов $Q \approx 110$; время экспозиции 20 с .

Список литературы: 1. Шуканов, А. В. Выращивание телят в условиях адаптивной технологии [Текст] / А. Д. Шуканов, В. Г. Семенов // Ветеринария. – 2000. – №10. – С. 48 – 51. 2. Юдин, М. Ф. Физическое состояние коров в разные сезоны года [Текст] / М. Ф. Юдин // Ветеринария. – 2001. – №2. – С. 38 – 41. 3. Cocnen, M. Nutritiv bedingte probleme in kalberbestanden [Текст] / M. Cocnen, A. Ullerich // Ubeisicht. Tieremahr. – 2005. – 24, №1. – P. 2433. 4. Elze, K. Der Kalberdurchfall / K. Elze // Milchpraxis. – 2006. – №4 – P. 178 – 182. 5. Белановский А. С. Основы биофизики в ветеринарии [Текст] / А. С. Белановский. – М.: Дрофа, 2007. – 332 с. 6. Сасимова, И. А. Обоснование биофизического действия информационных электромагнитных излучений на микробиологические объекты животноводства [Текст] / И. А. Сасимова, Л. Ф. Кучин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 4/2(34). – С. 27 – 29. 7. Крылов, В. И. Вычислительные методы [Текст] / В. И. Крылов, В. В. Бобков, П. И. Монастырский. – М.: Наука, 1976. – 302 с. 8. Пиротти, Е. Л. Изменение мембранного потенциала клеток биологических объектов, находящихся во внешних электромагнитных полях [Текст] / Е. Л. Пиротти, А. Д. Черенков // Вестник Харьковского национального университета (ХПИ), 2000. – Вып.92. – С. 96-99. 9. Рубин, А. Б. Биофизика.

Биофизика клеточных процессов [Текст] / А. Б. Рубин. – М.: Высшая школа, 1987. – Т.2. – 303 с. **10.** Аккерман, Ю. Биофизика [Текст] / Ю. Аккерман (пер. с англ.). – М.: Мир, 1964. – 684 с. **11.** Plonsey, R. Bioelectricity a Quantative Approach [Текст] / R. Plonsey, E. Barr. – New Vork: Plenum Press, 1988. – 366 p.

Bibliography (transliterated): **1.** *Shukanov, A. V., Semenov, V. G. (2000).* Rearing in conditions of adaptive technology. Veterinary medicine, 10, 48 - 51. **2.** *Yudin, M. F. (2001).* Physical condition of cows in different seasons of the year. Veterinary medicine, 2, 38 - 41. **3.** *Cocnen, M., Ullerich, A. (2005).* Nutritiv bedingte probleme in kalberbestanden. Ubeischt. Tieremahr, 24, 1, 2433. **4.** *Elze K. (2006).* Der Kalberdurchfall. Milchpraxis, 4, 178 – 182. **5.** *Belanovsky A. S. (2007).* Fundamentals of Biophysics in veterinary medicine. M: great bustard, 332. **6.** *Sasimova I. A., Kuchin, L. F. (2008).* Explanation of informational biophysical effect of electromagnetic radiation on microbiological livestock objects. Eastern-European journal of advanced technologies, 4/2 (34), 27 - 29. **7.** *Krylov, V. I. Bobkov, V. V., Monastyrskiy, P. I. (1976).* Computational methods. M.: Nauka, 302. **8.** *Pirotti, E. L., Cherenkov, A. D. (2000).* Changes in membrane potential of cells of biological objects that are affected by external electromagnetic fields. Vestnik Khark'kovskogo natsional'nogo universiteta (KHPI), 92, 96-99. **9.** *Rubin A. B. (1987).* Biophysics. Biophysics of cellular processes. M.: Vysshaya shkola, 2, 303. **10.** *Akkerman, J. (1964).* Biophysics. M.: Mir, 684. **11.** *Plonsey, R., Barr, E. (1988).* Bioelectricity a Quantative Approach. New Vork: Plenum Press, 366.

Поступила (received) 12.05.2014

УДК 621.374

М. А. ЧЁРНАЯ, аспирант, ХНТУСХ им. Петра Василенко, Харьков;
И. К. КУЗМИЧЁВ, д-р физ.-мат. наук, с.н.с., ХНУРЭ, Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗОНАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН ПОДСОЛНУХА

Предварительные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что желаемые изменения хода информационных процессов в биологическом объекте (семенах) возможно только при оптимальном сочетании значений биотропных параметров воздействующего электромагнитного поля, для определения которых необходимо использовать метод измерения хемилюминесценции на основе резонаторных систем. В данной статье проведен теоретический анализ открытой резонаторной системы с определением её конструктивных параметров для измерения сверхслабого свечения семян подсолнуха, находящихся под воздействием низкоэнергетического (информационного) электромагнитного поля.

Ключевые слова: семена подсолнуха; частота электромагнитного поля; резонаторная открытая система; хемилюминесценция семян.

Введение. При измерениях хемилюминесценции семян, обработанных ЭМП КВЧ диапазона, возникают трудности из-за возбуждения высших типов волн в волноводных и резонансных системах с кюветами для семян. Одночастотный отклик резонатора необходим для того, чтобы исключить неоднозначность при проведении измерений. При перестройке частоты задающего генератора в резонаторе может возбудиться другой тип колебаний, что в итоге исказит результаты измерений. С другой стороны, поскольку добротность возбуждаемого колебания определяется энергией, накопленной в резонансном объеме, то в миллиметровом диапазоне одномодовые резонаторы должны иметь низкую

© М. А. ЧЁРНАЯ, И. К. КУЗМИЧЁВ, 2014

добротность из-за их малых геометрических размеров и омических потерь в стенках. А помещение измеряемого объекта в резонансный объем может вообще привести к срыву колебаний. Именно поэтому в диапазоне КВЧ для проведения исследований по воздействию излучения на семена сельскохозяйственных культур необходимо переходить к резонансным системам, адекватным мм частотному диапазону – открытым резонаторам (ОР) [1].

Анализ предшествующих исследований. Хорошо известно, что ОР находят широкое применение в различных областях науки и техники [1,2]. Отличительной особенностью таких резонансных систем являются их геометрические размеры, которые значительно превышают длину волны. Кроме того, связь с внешним пространством обеспечивает дополнительную селекцию спектра, что является положительным фактором для решения поставленной в диссертации задачи. Наиболее часто ОР используются в составе волноводной линии передачи, поэтому для возбуждения вынужденных колебаний в таких резонансных системах применяется сосредоточенный элемент связи в виде щели, которая не может обеспечить одночастотный отклик в широкой полосе частот [2–4]. Поэтому для создания одночастотного отклика в широкой полосе частот необходимо обеспечить согласованное возбуждение основного колебания TE_{m0q} с помощью волноводной волны TE_{10} прямоугольного волновода.

Цель статьи. Определить основные характеристики и параметры открытого резонатора в измерительном резонаторном устройстве при измерении сверхслабого свечения семени подсолнуха.

Изложение основного материала по определению параметров резонатора.

Рассмотрим возбуждение основного колебания резонатора с помощью волны TE_{10} прямоугольного волновода сечением $a \times b$, расположенного в центре плоского зеркала (рис. 1). При проведении анализа будем считать, что Распределение возбуждающего поля \dot{E}_e в декартовой системе координат в плоскости $z = 0$ имеет вид [3]. прямоугольный волновод является одномодовым.

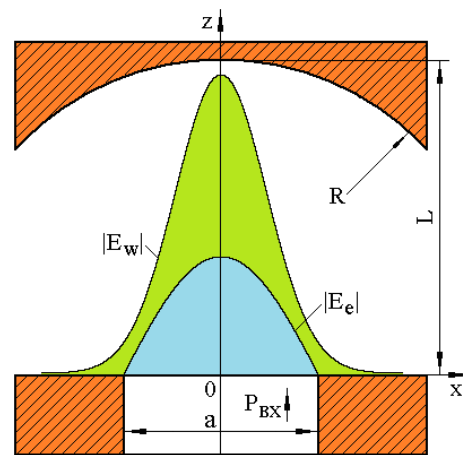


Рис. 1 – Полусферический ОР с отрезком прямоугольного волновода в центре плоского зеркала

$$\dot{E}_e(x', y) = j \frac{\omega \mu_a a}{\pi} H_{0z} \sin \frac{\pi x'}{a}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость; a – широкая сторона волновода; H_{0z} – амплитуда продольной составляющей магнитного поля.

Здесь опущен множитель $e^{-j\beta z}$, описывающий изменение \dot{E}_e вдоль оси z .

После переноса начала координат в центр раскрытия ($x' = x + (a/2)$),

выражение (1) примет вид:

$$\dot{E}_e(x, y) = j \frac{\omega \mu_a a}{\pi} H_{0z} \cos \frac{\pi x}{a}. \quad (2)$$

Считаем, что апертуры зеркал резонатора бесконечны. В этом случае в декартовой системе координат в плоскости $z=0$ амплитудное распределение поля колебания TEM_{00q} , которое будем называть рабочим E_w (см. рис.1), является гауссовым и описывается выражением:

$$E_w(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w_0^2}\right), \quad (3)$$

где w_0 – радиус пятна поля колебания TEM_{00q} в плоскости анализа (на поверхности плоского зеркала).

Для определения эффективности возбуждения рассматриваемого колебания в ОР воспользуемся соотношением [4], которое в декартовой системе координат для рассматриваемой нами задачи (см. рис.1) будет иметь вид:

$$\eta = \frac{\left| \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \dot{E}_e(x, y) E_w^*(x, y) dx dy \right|^2}{\|\dot{E}_e(x, y)\|^2 \|E_w(x, y)\|^2}. \quad (4)$$

В нашем случае величина η показывает какая доля мощности, поступающей в ОР из возбуждающего волновода сечением $a \times b$, идет на возбуждение n -го колебания в резонаторе.

Для дальнейших исследований найдем квадрат нормы функции, описывающей возбуждающее поле, амплитудное распределение которого показано на рис. 1. Для этого используем выражение:

$$\|\dot{E}_e(\rho)\|^2 = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \dot{E}_e(x, y) \dot{E}_e^*(x, y) dx dy. \quad (5)$$

После подстановки в уравнение (5) значения \dot{E}_e из выражения (2) получим:

$$\|\dot{E}_e(x, y)\|^2 = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \dot{E}_e(x, y) \dot{E}_e^*(x, y) dx dy = \left(\frac{\omega \mu_a H_{0z} a}{\pi}\right)^2 2b \int_0^{\pi/2} \cos^2 z dz. \quad (6)$$

С учётом результатов работы [5], выражение (4) запишем в окончательном виде:

$$\|\dot{E}_e(x, y)\|^2 = \left(\frac{\omega \mu_a H_{0z} a}{\pi}\right)^2 \frac{ab}{2}. \quad (7)$$

Теперь найдем квадрат нормы функции, описывающей рабочее поле:

$$\|E_w(x, y)\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_w(x, y) E_w^*(x, y) dx dy = 2 \int_0^{\infty} \exp\left(-2 \frac{x^2}{w_0^2}\right) dx \int_0^{\infty} \exp\left(-2 \frac{y^2}{w_0^2}\right) dy. \quad (8)$$

С учетом значения табличного интеграла [6]:

$$\int_0^{\infty} \exp(-q^2 u^2) du = \sqrt{\pi}/2q, \quad (9)$$

соотношение (8) запишем в следующем виде:

$$\|E_w(x, y)\|^2 = \pi w_0^2 / 2. \quad (10)$$

При дальнейшем анализе рассмотрим интеграл в числителе уравнения (4), который после подстановки в него значений \dot{E}_e и E_w из уравнений (2) и (3) примет вид:

$$H(x, y) = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \dot{E}_e(x, y) E_w^*(x, y) dx dy = \left(j \frac{\omega \mu_a H_{0z} a}{\pi} \right)^{a/2} \int_{-a/2}^{a/2} \exp\left(-\frac{x^2}{w_0^2}\right) \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx \times \int_{-b/2}^{b/2} \exp\left(-\frac{y^2}{w_0^2}\right) dy. \quad (11)$$

Проанализируем интегралы, входящие в выражение (11). Для этого их обозначим и, учитывая, что подынтегральные функции четные, запишем

$$H_1(x, y) = 2 \int_0^{a/2} \exp\left(-\frac{x^2}{w_0^2}\right) \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx, \quad (12)$$

$$H_2(x, y) = 2 \int_0^{b/2} \exp\left(-\frac{y^2}{w_0^2}\right) dy. \quad (13)$$

С учетом значения табличного интеграла [3]:

$$\int_0^u \exp(-q^2 v^2) dv = \frac{\sqrt{\pi}}{2q} \Phi(qu),$$

уравнение (13) запишем в окончательном виде:

$$H_2(x, y) = \sqrt{\pi} w_0 \Phi(b/2w_0), \quad (14)$$

где $\Phi\left(\frac{b}{2w_0}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{b/2w_0} \exp(-z^2) dz$ - интеграл вероятности [6].

С учётом преобразований соотношение (12) примет вид:

$$H_1(x, y) = 2 \int_0^{a/2} \exp\left(-\frac{x^2}{w_0^2}\right) \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx = \int_0^{a/2} \exp\left(-\frac{x^2}{w_0^2} + j \frac{\pi x}{a}\right) dx + \int_0^{a/2} \exp\left(-\frac{x^2}{w_0^2} - j \frac{\pi x}{a}\right) dx. \quad (15)$$

Сделаем обозначения $\alpha = j/w_0^2$, $\beta = \pi/a$. Тогда выражение (15) примет вид:

$$H_1(x, y) = \int_0^{a/2} \exp[j(\alpha x^2 + \beta x)] dx + \int_0^{a/2} \exp[j(\alpha x^2 - \beta x)] dx. \quad (16)$$

Выражения под знаком экспоненты в уравнении (16) представим в виде

$$(\alpha x^2 + \beta x) = \left(\sqrt{\alpha} x + \frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}\right)^2 - \frac{\beta^2}{4\alpha}, \quad (\alpha x^2 - \beta x) = \left(\sqrt{\alpha} x - \frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}\right)^2 - \frac{\beta^2}{4\alpha}.$$

Теперь введем новые переменные $(\sqrt{\alpha} x + \beta/2\sqrt{\alpha} = m)$, $(\sqrt{\alpha} x - \beta/2\sqrt{\alpha} = n)$, тогда выражение (16) примет вид

$$H_1(m, n) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \exp\left(-j \frac{\beta^2}{4\alpha}\right) \left[\int_{\frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}}^{\sqrt{\alpha} \frac{a}{2} + \frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}} \exp(jm^2) dm + \int_{\frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}}^{\sqrt{\alpha} \frac{a}{2} - \frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}}} \exp(jn^2) dn \right]. \quad (17)$$

Еще раз переобозначим $\sqrt{jm} = s$, $\sqrt{jn} = p$, и, учитывая введенные значения α и β , соотношение (17) запишем в виде:

$$H_1(s, p) = \frac{w_0}{j} \exp(-c^2) \left[\int_c^{c+jd} \exp(s^2) ds + \int_{-c}^{-c+jd} \exp(p^2) dp \right], \quad (18)$$

где $c = \pi w_0 / 2a$; $d = a / 2w_0$.

Теперь можем вычислить интегралы, входящие в выражение (18). Для этого воспользуемся теоремой Коши [7]. Опуская промежуточные выкладки, запишем выражение (13) в окончательном виде:

$$H_1(x, y) = w_0 \sqrt{\pi} \left[\exp(-c^2) + j \frac{\exp(-d^2)}{2} (W^*(c + jd) - W(c + jd)) \right], \quad (19)$$

где $W(c + jd)$ – интеграл вероятности комплексного аргумента.

На основании проведенных вычислений с учетом соотношений (14) и (19) запишем в окончательном виде выражение (11):

$$H(x, y) = \left(j \frac{\omega \mu_a H_{0z} a}{\pi} \right) w_0^2 \pi \Phi \left(\frac{b}{2w_0} \right) \left[\exp(-c^2) + \right. \\ \left. + j \frac{\exp(-d^2)}{2} (W^*(c + jd) - W(c + jd)) \right]. \quad (20)$$

Подставляя выражения (7), (10), (20) в соотношение (4), можем записать уравнение, определяющее эффективность возбуждения основного колебания TEM_{00q} полусферического ОР с помощью волноводной волны TE_{10} . Раскрывая значения c и d , получим в окончательном виде аналитическое выражение для η :

$$\eta = \frac{4\pi}{\tilde{a}\tilde{b}} \Phi^2 \left(\frac{\tilde{b}}{2} \right) \left[e^{-\left(\frac{\pi}{2\tilde{a}}\right)^2} + j \frac{e^{-\left(\frac{\tilde{a}}{2}\right)^2}}{2} \left(W^* \left(\frac{\pi}{2\tilde{a}} + j \frac{\tilde{a}}{2} \right) - W \left(\frac{\pi}{2\tilde{a}} + j \frac{\tilde{a}}{2} \right) \right) \right]^2, \quad (21)$$

где $\tilde{a} = a / w_0$; $\tilde{b} = b / w_0$.

Результаты расчета по формуле (21) показывают, что имеет место явно выраженный максимум возбуждения колебания TEM_{00q} в ОР волноводной волной TE_{10} . В этом случае величина $\eta = 0,881$ при нормированных размерах элемента связи $\tilde{a} = 2,844$ и $\tilde{b} = 1,980$.

Проведенные исследования показывают, что почти вся мощность, поступающая в резонатор ($\approx 88\%$), идет на возбуждение анализируемого колебания TEM_{00q} . Следовательно, такой ОР должен обладать унимодальной резонансной кривой в интервале перестройки порядка λ .

При определении конструктивных параметров резонаторной системы, для измерения хемилюминесценции семян, мы использовали следующие параметры. Максимальная эффективность возбуждения колебания TEM_{00q} в полусферическом ОР с помощью волны TE_{10} , как было показано выше, равна 0,881 при нормированных размерах волновода $\tilde{a} = 2,844$ и $\tilde{b} = 1,980$. В этом

случае радиус пятна поля основного колебания на плоском зеркале ОР, на который нормированы поперечные размеры волновода (см. рис. 1), будет определяться из уравнения [8]:

$$w_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} R \sqrt{\frac{L}{R} \left(1 - \frac{L}{R}\right)}}, \quad (22)$$

где $\lambda = 8,152$ мм – длина волны в свободном пространстве.

С другой стороны, режим максимальной величины нагруженной добротности Q_H ОР будет иметь место при таком расстоянии между зеркалами, когда омические и дифракционные потери в резонансной системе примерно равны. Кроме того, объем занимаемый колебанием, должен быть большим. Для полусферического ОР этот режим соответствует нормированному расстоянию между зеркалами $L/R \cong 0,7$ [2]. В общем случае апертуры зеркал рассматриваемого ОР определяются размерами сферического зеркала. Это связано с тем, что размер пятна поля w_1 колебания TEM_{00q} на этом зеркале всегда больше, чем на плоском, так как $w_1^2 = w_0^2 / (1 - L/R)$ [9], а $L/R < 1$. Поэтому условие малости дифракционных потерь для такой электродинамической системы определяется условием $a_1 \cong 2 w_1$ [10]. Теперь из уравнения (22) найдем, что $w_0 = 11,025$ мм, $w_1 = 20,129$ мм. Тогда поперечные размеры волновода равны: $a = 31,4$ мм; $b = 21,8$ мм. Исходя из полученных размеров прямоугольного волновода, которые в несколько раз превышают рабочую длину волны, можем сказать, что этот волновод является сверхразмерным. Диаметры зеркал рассматриваемого полусферического ОР не должны быть меньше $4 w_1 \cong 80,5$ мм. Поэтому мы выбрали апертуры зеркал исследуемого резонатора, равными 100 мм.

Для обеспечения угловой и частотной селекции в резонаторной системе длина волноводного отрезка будет определяться из выражения [9]:

$$h = \frac{3\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} = 25,221 \text{ мм}. \quad (23)$$

Выводы. Для получения одночастотного отклика в широкой полосе частот, при максимальной эффективности возбуждения 88%, следует использовать резонаторную систему с параметрами: размеры сверхразмерного прямоугольного волновода 31,4 x 21,8 x 25,221 мм; апертура зеркал ОР 100 мм; расстояние между зеркалами $\frac{L}{R} = 0,716$.

Список литературы: 1. Шестопалов, В. П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники [Текст]: в 2 т. / В. П. Шестопалов. – К.: Наукова думка. – Источники. Элементная база. Радиосистемы, 1985. – 256 с. 2. Шестопалов, В. П. Дифракционная электроника [Текст] / В. П. Шестопалов. – Харьков: Вища школа, 1976. – 232 с. 3. Вольман, В. И. Техническая электродинамика [Текст] / В. И. Вольман, Ю. В. Пименов; под ред. Б. З. Айзенберга. – М.: Связь, 1971. – 488. 4. Kuzmichev I. K. Excitation efficiency of quasioptical resonance systems [Текст] / I. K. Kuzmichev // Telecommunications and Radio

Engineering. – 2009. – Vol. 68, No. 1. – P. 49 – 63. **5.** Градштейн И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений [Текст] / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М.: Госуд. изд-во физ. – мат. лит-ры, 1962. – 1100 с. **6.** Янке, Е. Специальные функции [Текст] / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш; пер. с нем. под ред. Л.И. Седова. – М.: Наука, 1977. – 342 с. **7.** Бронштейн, И. Н. Справочник по математике [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с. **8.** Тарасов, Л. В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения [Текст] / Л. В. Тарасов. – М.: Радио и связь, 1981. – 440 с. **9.** Лебедев, И. В. Техника и приборы СВЧ: В 2-х т. [Текст] / И. В. Лебедев. – М.: Высшая школа, 1970. – Т. 1. – 440 с. **10.** Глоге, Д. Расчет оптических резонаторов и линзовых систем [Текст] / Д. Глоге; пер. с нем. и англ. под ред. Б. З. Каценеленбаума и В. В. Шевченко // Квазиоптика. – М.: Мир, 1966. – С. 280 – 314.

Bibliography (transliterated): **1.** *Shestopalov B. N.* (1985). Physical basics of millimeter and sub millimeter technologies. K.: Scientific thought. - Sources. Element base. Radio systems, 256. **2.** *Shestopalov B. N.* (1976). Diffraction electronics. Kharkov: Vyscha shkola, 232. **3.** *Volman, V. I., Pimenov, J. V.* (1971). Technical electrodynamics. M: Communications, 488. **4.** *Kuzmichev, I. K.* (2009). Excitation efficiency of quasioptical resonance systems. Telecommunications and Radio Engineering, 68, 1, 49-63. **5.** *Gradstain I. S., Ryzhik, I. M.* (1962). Tables of integrals, sums, series, and is produced deposits. Mat. literature, 1100. **6.** *Janke, E., Emde, F., Lesh; F.* (1977). Special functions. M: Nauka, 342. **7.** *Bronshstein, I. N. Semendyaev, K. A.* (1986). Handbook of mathematics. M: Nauka, 544. **8.** *Tarasov, L. V.* (1981). Physics of processes in the generation of coherent op-optical radiation. M: Radio and communication, 440. **9.** *Lebedev, I. V.* (1970). Technology and microwave devices. High school, 1, 440. **10.** *Hlohe, D., Katsenelenbauma, B. Z., Shevchenko, V. V.* (1966). Calculation of optical resonator and lens systems. M.: Mir, 280 – 314.

Поступила (received) 12.05.2014

УДК 681.2: 620.1

Е. М. ПРОХОРЕНКО, канд. физ.-мат. наук, с. н. с. ИЭРТ НАН Украины, Харьков;

В. Ф. КЛЕПИКОВ, д-р физ.-мат. наук, проф., директор ИЭРТ НАН Украины Харьков;

В. В. ЛИТВИНЕНКО, д-р техн. наук, с. н. с. ИЭРТ НАН Украины, Харьков;

С. Е. ДОНЕЦ, канд. техн. наук, с. н. с. ИЭРТ НАН Украины, Харьков;

Г. В. МОРОЗОВА, канд. техн. наук, доц., УкрГАЖТ, Харьков;

А. О. КОРЧИНСКИЙ, нач. ПТО, Змиевская ТЭС, Комсомольский;

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЙ ДЕФЕКТОВ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Методами тепловизионной термографии осуществлен контроль нарушения структуры материалов и дефектов электрооборудования. Степень проявления термоаномалий от нарушений, обусловлена структурными неоднородностями и внешними искажающими факторами. Изучались зависимости изменения теплового образа от силы воздушного потока и его направления. Показано, что использование параметров приведенного превышения температур, коэффициента дефектности, градиента температурного поля позволяет идентифицировать термоаномалии при воздушных потоках существенно выше нормативных. Методики апробированы на объектах Змиевской ТЭС.

Ключевые слова: термопроявления нарушения структуры материалов и дефектов, метод ИК-радиометрии, коэффициент дефектности.

© Е. М. ПРОХОРЕНКО, В. Ф. КЛЕПИКОВ, В. В. ЛИТВИНЕНКО, С. Е. ДОНЕЦ, Г. В. МОРОЗОВА, А. О. КОРЧИНСКИЙ, 2014

Введение. В условиях современного техногенного мира вопросам безопасной работы и эксплуатации электрооборудования уделяется огромное внимание. Особенно это важно для объектов атомных и тепловых станций. Важность данного вопроса не подлежит сомнению, так как любое нарушение, сбой или отказ в работе могут повлечь за собой создание аварийной ситуации. Следовательно, вопросы обнаружения в конструкционных материалах процессов старения и дефектов различной природы должны ставиться во главу угла. Дефекты, повреждения, нарушения в работе оборудования и приборов энергетики могут возникать по нескольким причинам: а) длительные сроки эксплуатации, б) тяжелые и несоответствующие паспортным условия эксплуатации, в) несовершенство или несоблюдение технологии изготовления.

В настоящее время для контроля электрооборудования применяются различные методы. По своим параметрам и характеристикам они отличаются между собой по эффективности контроля, чувствительности, экономичности. Они базируются на различных способах взаимодействия физических полей с веществом обследуемого объекта и, соответственно, отличаются способами идентификации полученных результатов.

Среди методов контроля важное место занимает бесконтактная, неразрушающая диагностика. Широко используются следующие методы: электрические, магнитные, вихревые, тепловые, акустические, оптические (видимый диапазон), ультрафиолетовые, СВЧ, рентгеновские, гамма методы и т.д. В нашей работе рассматривалось применение метода инфракрасной (ИК) радиометрии, который является одним из методов теплового контроля [1, 2]. Наряду с прочими, в последнее время, он получил достаточно широкое распространение. Это связано с удешевлением приемных матриц, работающих в инфракрасном диапазоне, и соответственно доступностью тепловизоров. Так как метод является бесконтактным и дистанционным, то можем произвести контрольные замеры, находясь на расстоянии от обследуемого объекта. Т.е. применение ИК-радиометрии особенно эффективно, при обследовании зон с высоким напряжением, сильным магнитным полем, для мест с затрудненным доступом, протяженных тел. Все эти возможности, подтверждают целесообразность использования тепловизионной техники для диагностики и контроля электрооборудования, кабельных линий, линий электропередач, трансформаторов. Особенно эффективным является применение тепловизоров при скрининг контроле (экспресс контроле), когда принципиальным является абсолютное значение температур, а необходимо найти зоны с её аномальным отклонением и идентифицировать предаварийные и аварийные участки.

Цель работы. Целью настоящей работы является разработка и внедрение тепловизионных методов для контроля дефектности материалов, электрооборудования. При помощи методов ИК-радиометрии, экспериментально изучить изменение термопроявлений от повреждений структуры материала и дефектов оборудования.

Обоснование метода исследования и техника эксперимента. Метод ИК-радиометрии базируется на фиксации тепловой картинки с поверхности объекта обследования приборным способом (тепловизором). Тепловое поле на

поверхности формируется тепловыми потоками, проходящими через тело. Преобразование и изменение этих тепловых потоков зависит от внутренней структуры объекта. Любое нарушение однородности материала, наличие дефектов изменяет внутренне тепловое сопротивление и, следовательно, происходит перераспределение тепловых потоков, что в свою очередь изменяет тепловую картинку на поверхности. Используются два метода теплового контроля: пассивный и активный. Пассивный метод теплового контроля базируется на изучении распределения теплового поля, на поверхности объекта, вызванного собственным излучением. Активный – основывается на применении внешнего воздействия (механического, электрического [3, 4], теплового), которое стимулирует процессы перераспределения тепловых полей внутри тела [5]. В этом случае, на поверхности тела, мы наблюдаем результат суперпозиции приложенных (активационных) и собственных тепловых полей. Выделение полезного сигнала, возможно на основе решения уравнений нестационарной теплопроводности, в которой учитываются конструкционные особенности объекта обследования, параметры внешней среды, различные режимы работы [6]. При регистрации распределения теплового поля, информация фиксируется в виде снимков (термограмм), которые сохраняются и в дальнейшем используются для детализации и вторичного контроля.

Любой объект, кроме тел находящихся при температуре абсолютного нуля, излучает тепловое (инфракрасное) излучение. Интенсивность излучения тела связана с температурой поверхности определенным законом. В соответствии с законами излучения и поглощения тепловой энергии (Закон Вина) плотность теплового потока определяется по формуле:

$$F_{\lambda_2-\lambda_1} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_{\lambda} \frac{dR_{ч.м.}(\lambda, T)}{d\lambda} \cdot S \cdot d\lambda (Вт) \quad (1)$$

В этой формуле ε – коэффициент излучения поверхности, S – площадь поверхности, $dR_{ч.м.}(\lambda, T)/d\lambda$ – спектральная плотность излучения черного тела. Формула (1) является довольно сложной для практического применения. С целью её упрощения, проинтегрируем это выражение по всем длинам волн и получим закон Стефана-Больцмана, который показывает полную энергетическую светимость объекта в виде:

$$W_{\lambda} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ постоянная Стефана-Больцмана; T – температура в градусах Кельвина; α – угол между тепловизором и нормалью к плоскости исследуемого объекта. Проведя ряд математических преобразований, и сделав некоторые допуски, получим выражение для нахождения температур:

$$T_{\text{факт}} \approx \frac{T_{\text{рад}}}{\sqrt[4]{\varepsilon}} \quad (3)$$

здесь $T_{\text{рад}}$ – радиационная температура, измеренная тепловизором, ε – коэффициент излучения контролируемой поверхности, $T_{\text{факт}}$ – фактическая температура поверхности. Выражение (3) уже нормировано на единицу площади.

Рассматривая выражения (1) и (2) видим, что плотность теплового потока с поверхности тела и соответственно распределение температур на ней, зависят от

состояния этой поверхности, т.е. от величины ε . На значение коэффициента излучения влияет шероховатость или зеркальность, наличие ржавчины, окалины, масляных пятен на обследуемом теле [2]. Все эти параметры изменяют ε . Зеркальные участки будут иметь вид более “холодных”. Шероховатые, ржавые, с масляными пятнами более “теплых”. Влияет на точность определения температуры и угол наблюдения, т.е. угол между нормалью к поверхности и оптической осью приемника ИК-излучения. Чем больше отклонение угла наблюдения от нормали, тем сильнее температура на термограмме, отличается от истинной, в сторону понижения. Таким образом, при проведении ИК-контроля [7] необходимо учитывать взаимное расположение тепловизора и объекта наблюдения. Также в случае, если на поверхности тела имеются участки с различной кривизной, то на термограммах на их месте будут зоны с отклонениями температурного поля, которые необходимо дополнительно проверить.

При проведении обследования важным является учет влияния внешней среды [7, 8]. Так как значительное количество электрооборудования находится на открытом пространстве (линии электропередач, трансформаторное оборудование, опоры изоляторов и т.д.). В значительной степени, на показания, во время тепловизионного контроля, влияет солнечная радиация. Поток солнечной энергии, различные участки контролируемого оборудования нагреваются неравномерно. Поэтому, высока вероятность появления ложных температурных аномалий, которые по интенсивности могут превышать искажения тепловых полей, вызванные дефектами и нарушениями. На практике, для решения данной проблемы, необходимо проводить тепловизионное обследование в ночное время или в пасмурную погоду [8].

Следующим фактором, который необходимо учитывать из-за значительных искажений на результат тепловизионной съемки есть ветер. При обдуве объекта воздушным потоком, происходит его охлаждение, как по всему объему, так и локально. При скорости ветра до 5м/сек в расчетах можно использовать приближенную формулу[8]:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{0.448} \quad (4)$$

где V_1 – скорость ветра в первом случае; V_2 – скорость ветра во втором случае, ΔT_1 - превышение температуры в первом случае; ΔT_2 – превышение температуры во втором случае. Данное выражение справедливо в случае, когда воздушный поток направлен параллельно к поверхности объекта, т.е. максимального теплоотбора от поверхности. Изменение этих характеристик оказывает значительное влияние на тепловую картинку в области дефекта.

В данной работе рассмотрено влияние на изменение термоизображения дефекта в случае сильного порывчатого ветра с произвольным направлением.

В качестве диагностического прибора использовался тепловизор Ti-814 фирмы LAND Instruments International Ltd, на основе неохлаждаемой болометрической матрицы (320×240) элементов с основными параметрами: спектральный диапазон 7.5 – 14 мкм; температурная чувствительность при 30°C составляла 0.08°C; пространственное разрешение 1,3 мрад; поле зрения

составляет $23^{\circ} \times 17^{\circ}$; диапазон измеряемых температур от -20°C до $+1500^{\circ}\text{C}$ (опционно). Посредством данного прибора определение температурного поля проводится дистанционно и с высокой точностью. Он хорошо зарекомендовал себя при проведении проверок на стендовом оборудовании. Комплектация и компоновка тепловизора Ti-814 позволяет решать вопросы контроля протяженных и громоздких объектов в полевых условиях.

Проведение обследования. Обсуждение результатов. Методика тепловизионного обследования включает в себя несколько направлений, проводится поэтапно и требует выполнение ряда процедур.

Одним из наиболее простых путей есть: а) провести тепловизионную съемку и получить термограммы, б) выделить на них области с тепловыми аномалиями, в) произвести ремонт или замену оборудования. К недостаткам данной методики следует отнести низкую точность и достоверность полученных результатов (порядка 27 %) за счет наличия наводок, ложных дефектов, влияния различных внешних и внутренних источников тепла, паразитного нагрева. В нашем случае использовалась более затратная, более медленная, но намного эффективнее методика проведения тепловизионной диагностики состоящая из нескольких шагов.

На первом этапе получают эталонные снимки, и создается паспорт обследуемого объекта.

С этой целью, обычно, тепловизионная съемка будущих объектов контроля производится в период пуска. В нашем случае все оборудование уже эксплуатировалось достаточно длительное время, поэтому в качестве опорных, будем использовать снимки первичного обследования. Для проведения измерений было подобрано время и внешние условия, максимально соответствующие требованиям инфракрасной съемки. Т.е. минимальное количество факторов, которые могут создать дополнительные случайные погрешности. Контроль оборудования происходил при таких параметрах: а) пасмурная погода, б) отсутствовал ветер, в) внешняя температура составляла величину 9.2°C (282.2°K), г) отсутствие тумана, дождя, снега, д) все оборудование уже проработало под нагрузкой значительный промежуток времени.

Каждое из перечисленных выше условий отвечает за определенные факторы, вносящие искажения в результаты измерений. а) При пасмурной погоде отсутствует солнечная радиация и исключается неравномерность нагрева различных деталей, нет переотраженных сигналов. б) Безветренная погода обеспечивает равномерность нагрева плоских поверхностей, выпуклых деталей и оборудования, находящегося во впадинах и полостях. Так как на выступающих элементах, происходит ускорение воздушного потока и увеличение теплоотдачи, то скорость их остывания выше, чем плоских. Соответственно, остывание элементов во впадинах слабее. в) Условие работы оборудования в интервале температур 260°K - 320°K , связана с тем, что погрешность результатов измерения тепловизора в этом интервале минимальна. г) Отсутствие тумана, дождя, снега свидетельствует о том, что на поверхности обследуемого объекта нет областей, излучательная способность которых искажена наличием влаги. д) В случае, когда

оборудование проработало под нагрузкой определенный промежуток времени происходит выход на состояние термодинамического равновесия, т. е. тепловые потоки, вызванные включением питания, вышли на режим насыщения.

При проведении тепловизионного обследования (ИК-термографии) важным является не только обнаружение термоаномалий, но и их идентификация. Для определения дефектной зоны используется параметр превышения температуры. Т. е. он показывает, на сколько градусов отличается температура в точке от температуры внешней среды. Его использование позволяет фиксировать резко выраженные повреждения. Однако при неравномерной нагрузке, наличии засветок, влиянии внешних помех точности недостаточно. Поэтому, был введен дополнительный контрольный параметр – избыточное (приведенное) превышение температур ($\Delta t_{изб} = t_d - t_u$), где t_d – температура в точке дефекта, t_u – температура в аналогичной исправной точке. Для определения степени нарушения введем специальный диагностический параметр – коэффициент дефектности ($K_d = \Delta t_d / \Delta t_k$) где. где Δt_d – превышение температуры над внешней средой в точке дефекта, Δt_k – превышение температуры над внешней средой в любой сходной точке объекта на расстоянии не менее 0.5м от дефектной области. Использование этих величин дает возможность выявить дефекты, определить степень их развития и сделать заключение о очередности проведения ремонтно-восстановительных работ.

Для отработки методик обследовались контакты разъединителей. В результате проведения тепловизионной съемки была обнаружена точка с аномальным превышением температур. Термограмма тепловой зоны и график температур через нее представлены на рис. 1. На рис. 1а приведена термограмма разрядника, в контактной зоне которого было обнаружено температурное

превышение. На рис. 1б представлен график изменения температур по линии сечения вдоль дефекта. Наблюдаем температурное превышение на 1.7°C над телом разрядника и 5.6°C , по сравнению с внешней средой.

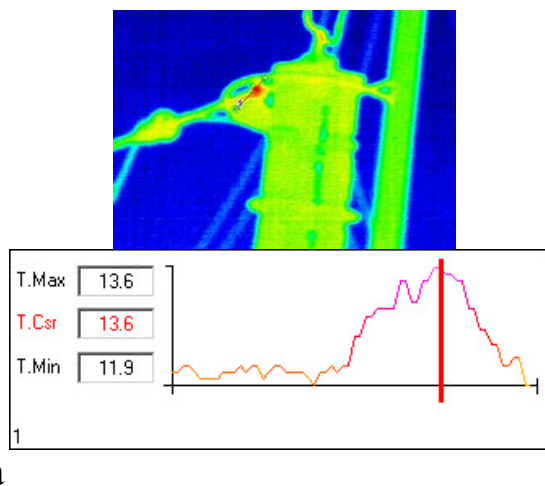


Рис. 1 – Результаты начального термографического обследования: а – термограмма дефектной зоны, б – график температур по сечению аномальной зоны

Тепловизионная съемка проводилась при следующих внешних условиях: пасмурная погода, отсутствие дождя и влажности. Скорость ветра 3м/сек в направлении перпендикулярном плоскости снимка, от наблюдателя. Внешняя температура 8°C . Для определения степени повреждения вычислили $\Delta t_d = 13.6 - 8 = 5.6^{\circ}\text{C}$ и $\Delta t_k = 12.8 - 8 = 4.8^{\circ}\text{C}$ (избыточные превышения температур в точке

дефекта и в бездефектной зоне). Из этих величин значение коэффициента дефектности составляет величину $K_d=1.17$. Из требований [7, 8] следует, что дефект находится в начальной стадии развития, т.е. его устранение во время очередного планово предупредительного ремонта. На основании уже проделанных работ, можем сделать вывод о причинах, которые могут инициировать данный тепловой след. Это может быть: обрыв отдельных проводников из-за их перетирания, дефект контактного соединения в месте присоединения ошиновки к аппаратному зажиму, дефект болтового или прессованного соединения.

Для выяснения динамики развития повторный анализ провели через двадцать дней. Во время тепловизионных съемок погодные условия были такие: переменная облачность, скорость ветра 9м/сек, с порывами до 15м/сек тс разных сторон, внешняя температура 6°C. Термограмма аномальной зоны и график изменения температур вдоль неё представлены на рис. 2. Свечение в области

дефекта на рис. 2 а слабее, чем в начальном случае из-за более сильного ветрового обдува. По этой же причине более низкая температура (рис. 2 а), как всего разрядника, так и дефектной области. Из термограммы видно, что при сильных

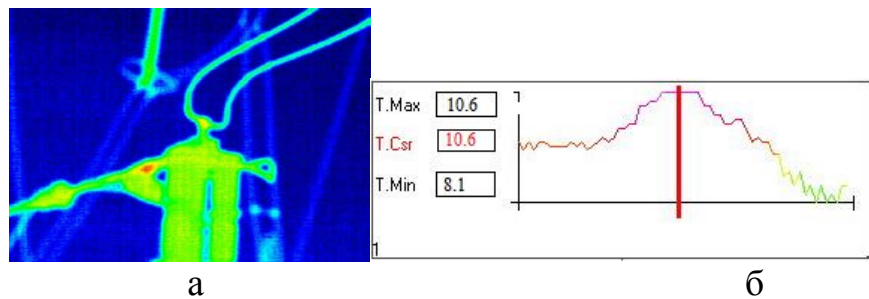


Рис. 2 – Результаты контрольного термографического обследования: а – термограмма дефектной зоны, б – график температур по сечению аномальной зоны

воздушных потоках абсолютное превышение температуры в зоне дефекта меньше, чем в отсутствие ветра. Это связано с разной степенью остывания под воздействием различных потоков ветра. Значения температур, полученные при помощи выражения (4) становятся недостаточно точными. Соответственно, увеличивается вероятность не заметить дефектную область. На термограмме рис. 2 абсолютное превышение температур незначительное. Сделать вывод о наличии дефекта затруднительно [9]. Для определения повреждения снова воспользуемся коэффициентом дефектности. Найдем приведенные превышения температур в точке дефекта $\Delta t_d=10.6-6=4.6^\circ\text{C}$ и в бездефектной зоне $\Delta t_k=9.9-6=3.9^\circ\text{C}$. Значение коэффициента дефектности $K_d=1.18$. Дефект, находится в начальной стадии. Однако наблюдаем незначительный рост коэффициента дефектности, что свидетельствует о развитии нарушения.

На основании полученных результатов можем сделать вывод, что есть возможность расширить область применения методов ИК-радиометрии для контроля исправности электрооборудования и диагностики изменений структуры материала. Результаты получены в условиях сильных воздушных потоков с разнонаправленными порывами.

Более точные результаты определения дефектных зон дают математические методы, базирующиеся на компьютерной обработке полученных термограмм [10]. Были построены градиенты температурного поля на всем пространстве

термограмм. Результаты вычислений представлены на рис. 3. Так как воздушные потоки охлаждают объект обследования несимметрично, то на термограммах тепловые проявления дефектов будут слабо выражены. При расчетах градиента температур рассматриваем соседние точки. В математическом приближении расстояние между соседними точками мало и можем считать, что остывание у них одинаково. Таким образом, градиент температур не зависит от неоднородности остывания в макро масштабе, т.е. не зависит от воздушного потока. На Рис.3а приведен расчет градиента температурного поля для первичной тепловизионной съемки, на рис. 3 б – обработка вторичного снимка. На обоих снимках наблюдаем усиление градиента температур в зоне аномального отклонения температур.

Это свидетельствует о наличии постоянного дефекта в области крепления контакта. Сравнивая рисунки в области аномалии, наблюдаем концентрацию градиентов температурного поля на рис. 3 б по сравнению с рис. 3 а. Можем сделать заключение о дальнейшем развитии дефекта.

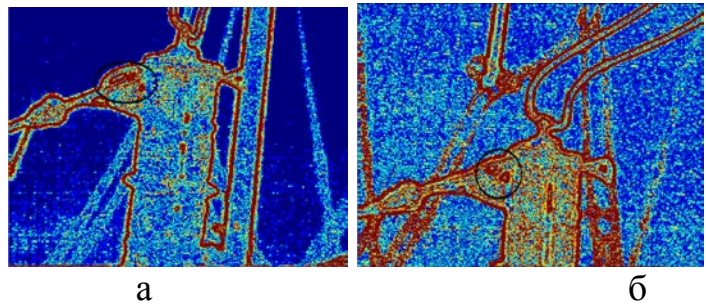


Рис. 3 – Градиенты температурного поля для разрядников: а – первичный снимок; б – вторичное обследование

Таким образом, после проведения

тепловизионной съемки для анализа термопроявлений необходимы различные приемы. Необходимо изучение значения абсолютного превышения температур, определение избыточного превышения температур, анализ коэффициента дефектности, вычисление градиента температурного поля. Комплексное использование всех этих характеристик позволяет определить наличие дефекта степень его развития и дать рекомендации по срокам его устранения.

Выводы

1. На основании рассмотрения изменения термопроявлений изучены изменения структуры материалов и дефектов электрооборудования.
2. Проведена доработка методов ИК-радиометрии для контроля электрооборудования.
3. Обследована часть электрохозяйства Змиевской ТЭС при наличии ветровых потоков.
4. Обнаружены дефекты контактной группы разрядников, определена степень развития нарушений и даны рекомендации по срокам их устранения.
5. С помощью численных методов получены градиенты температурных полей.
6. Даны предложения по расширению границ применения методов ИК-радиометрии в условиях сильных ветровых потоков.

Список литературы: 1. Вавилов, В. П. Инфракрасный и тепловой контроль. [Текст] / В. П. Вавилов. – М.: Спектр, 2009. – 544 с. 2. Клепиков, В. Ф. Розробка та впровадження радіаційних технологій модифікації твердих тіл та обробки конденсованих середовищ. [Текст] / В.Ф. Клепиков, М.І. Базалєєв, В.В. Литвиненко, С.М. Прохоренко і ін. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 2, № 5 (62). – С. 4–9. 3. Henneke, E. G. Thermography. An NDI method for damage detection [Text] / E. G. Henneke, K. L. Reifsnider, W. W. Stinchcomb // Journal of

Metals. – 1979. – Vol. 31. – P. 11–15. **4. Nordal, P. E.** Photothermal radiometry [Text] / *P. E. Nordal, S. O. Kanstad* // *Physica Scripta*. – 1979. – Vol. 20. – P. 659–662. **5. Thomas, R. L.** Thermal NDE Techniques – from Photoacoustics to Thermosonics [Text] / *R. L. Thomas* // *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation 21*, edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti, AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics, Melville, NY. – 2002. – Vol. 615 – P. 3–13. **6. Мацевитый, Ю. М.** Обратные задачи теплопроводности Т.1. Методология. [Текст] / *Ю. М. Мацевитый*. – Киев: Наукова думка, 2002.— 408 с. **7.** Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. [Текст] // РД 153 – 34.0-20.363-99. – Утв. 8ин.энерго России 12.12.1999. – М.: Мин.энерго, 1999. – 58 С. **8. Гобрей, Р. М.** Диагностирование электроустановок 0,4-750кВ средствами инфракрасной техники. [Текст] / *Р. М. Гобрей, В.Ф. Чернов, Е. И. Удод*. – Киев.: «КВЦ», 2007. – 374 с. **9. Прохоренко, Е. М.** Тепловизионный контроль электрооборудования электрических станций для выявления аварийных режимов работы [Текст] / *Е. М. Прохоренко, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко, А. И. Морозов, О. В. Кулаков*. // *Науковий вісник Укр НДІПБ*. – 2012. – № 2 (26). – С. 191–198. **10. Прохоренко, Е. М.** Способ численной обработки контрастных термоизображений для идентификации дефектов [Текст] / *Е. М. Прохоренко, Б. Б. Бандурян, Н. И. Базалеев, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко, В. С. Рихвицкий, В. Н. Робук, М. А. Сагадачный*. // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2011. – Т. 1, № 10 (49). – С. 15–20.

Bibliography (transliterated): **1.** Vavilov, V. P. (2009). IR and thermal control. M.: Spectrum, 544. **2.** Klepikov, V. F., Bazaleev, M. I., Lytvynenko, V. V., Prokhorenko, E. M. (2013). Development and application of radiation technologies modification and processing of solids condensed matter. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 2, № 5 (62). P. 4-9. **3.** Henneke, E. G., Reifsnider, K. L., W. W. Stinchcomb W. W. (1979). Thermography. An NDI method for damage detection. *Journal of Metals*. Vol. 31. 11–15. **4. Nordal, P. E. S. O. Kanstad, S. O.**, (1979). Photothermal radiometry *Physica Scripta*. Vol. 20. 659–662. **5. Thomas, R. L.** (2002). Thermal NDE Techniques – from Photoacoustics to Thermosonics. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation 21*, edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti, AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics, Melville, NY. Vol. 615. P. 3–13. **6. Matsevity, J. M.**, (2002). Inverse heat conduction problems V.1. Methodology. Kiev: Naukova Dumka, 408 **7.** Spec, K. (1999). Main provisions of the infrared technique and the diagnosis of VL. [Text] // RD 153 - 34.0-20.363-99. Approved. 8in.energo Russia M.: Min.energo, 58. **8. Gobrya, R. M., Chernov, V. F., Udod, E. I.**, (2007). Diagnosis 0.4 750kV electrical means infrared technology. Kiev. "KVITS", 374. **9.** Prokhorenko, E. M., Klepikov, V. F., Lytvynenko, V. V., Morozov, A. I., Kulakov, O. V., (2012). Thermal control of electrical power plants to identify emergency operation. *Ukr Naukova visnyk NDIPB*. № 2 (26). 191-198. **10.** Prokhorenko, E. M., Klepikov, V. F., Bazaleev, M. I., Lytvynenko, V. V., Rihvitsky, B. C., Robuk, V. N., MA Sagadachny, V. N., (2011). Method numerical processing contrast thermal images to identify defects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 1, № 10 (49). 15-20.

Поступила (received) 22.05.2014

УДК 66.099.2

М. С. СКИДАНЕНКО, ассистент, СумГУ, Сумы;
В. И. СКЛАБИНСКИЙ, д-р техн. наук, проф., СумГУ, Сумы;
Н. П. КОНОНЕНКО, с. н. с., СумГУ, Сумы

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ СТРУИ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЯ ПЕРФОРИРОВАННОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИЛЛЕРА

В статье рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса нестационарного истечения струи жидкости из отверстия, что является базовым для расчета виброгранулятора. Определена закономерность регулируемого распада струй жидкости на капли и проведены исследования, которые подтверждают возможность создания грануляторов розплава, для получения продукта в узком фракционном диапазоне.

Ключевые слова: вынужденные возмущения, виброгранулятор, распад струи, экспериментальные исследования, грануляционная башня.

© М. С. СКИДАНЕНКО, В. И. СКЛАБИНСКИЙ, Н. П. КОНОНЕНКО, 2014

Введение. Для получения товарных форм азотных минеральных удобрений из расплавов в химической промышленности используются вращающиеся вибрационные грануляторы (приллеры) [1]. В большинстве случаев вращающийся виброгранулятор работает следующим образом [2]. Под действием напора расплав вытекает из отверстий перфорированного днища в виде струй, которые распадаются на капли. Спонтанный распад струй на капли обусловлен статической неустойчивостью жидкого цилиндра под воздействием силы поверхностного натяжения и случайных возмущений, налагаемых на поверхность струи, с образованием основных капель и меньших по размеру капель - спутников [3].

При наложении регулярных возмущений на струи жидкости происходит ее распад на капли одинакового размера без образования капель - спутников, если длина λ образованных волн будет больше πd (d - диаметр струи) [4]. При таких условиях происходит рост во времени амплитуды волн, возникающих на поверхности струи жидкости. Из сказанного выше видно, что задаваясь частотой колебаний f можно влиять на изменения $P = f(\tau)$ и регулировать средний диаметр и диапазон монодисперстности получаемых капель расплава при вынужденном распаде струи.

Целью работы. Целью работы является исследование процесса нестационарного истечения струи жидкости из отверстия в тонкостенной оболочке при наложении внешних возмущений и их влияния на изменения радиальной и осевой составляющей скорости, и соответственно на формирование гидродинамических условий в струе, которые приводят к ее распаду на капли.

Методика эксперимента. Исследование гидродинамических параметров

процесса истечения жидкости из вертикально расположенного цилиндрического резервуара проводились на одиночном отверстии в тонкой стенке. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. В качестве жидкости использовалась вода и модельная жидкость, которая имела плотность, вязкость и коэффициент поверхностного натяжения близкие к аналогичным показателям расплава азотного удобрения. Жидкость из емкости насосом подается в вибрационный гранулятор, где равномерно распределяется в перфорированном днище и заполняет его объем. Расход жидкости контролируется

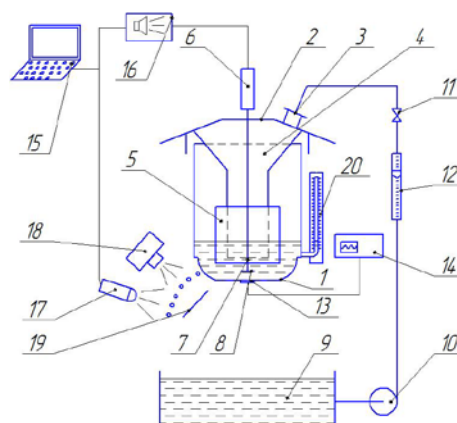


Рис. 1 – Экспериментальный стенд виброгранулятора: 1 - переменная перфорированное днище (корзина); 2 - корпус; 3 - патрубок; 4 - коллектор; 5 - фильтрующий элемент; 6 - электромагнитный вибратор; 7 - шток; 8 - резонатор (диск); 9 - буферная емкость; 10 - насос; 11 - вентиль; 12 - ротаметр; 13 - датчик колебаний; 14 - осциллограф; 15 -

ротаметром и регулируется компьютер; 16 - усилитель низкой частоты; вентилем. Уровень заполнения 17 - стробоскоп; 18 - фотокамера; 19 - экран со шкалой; 20 - уровнемер

корзины контролируется уровнемером.

Под действием напора жидкость вытекает из отверстия днища. Программой с компьютера генерируется сигнал, который подается на электромагнитный вибратор и через шток приводит в колебательное движение диск-излучатель. Частота с которой колеблется перфорированное днище корзины фиксируются с помощью датчика колебаний. Для визуального наблюдения за распадом струй на капли, используется стробоскоп. Возле струи, вытекающей из перфорированного днища гранулятора, размещен экран со сменными шкалами, который позволяет определять длину не распавшейся части струи, диаметр капель образованных после распада струи и расстояние между ними. Фотокамера расположена над струей и экраном со шкалой позволяет фиксировать режимы распада струи на капли.

Методика численного исследования. Для численного исследования задачи, по определению механизма распространения колебаний в объеме жидкости и изменения значения давления в струе, вытекающей из отверстия перфорированного днища, была использованная известная система уравнений, для описания нестационарного истечения вязкой жидкости из отверстия [5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial \tau} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_r) \right) \right], \\ \frac{\partial v_z}{\partial \tau} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \right], \\ \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_r) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Обсуждение результатов. Для уменьшения количества факторов от которых зависит гидродинамический процесс, дополним систему уравнений (3), кинематическими уравнениями определения скорости:

$$\begin{aligned} \frac{\partial r}{\partial \tau} &= v_r, \\ \frac{\partial z}{\partial \tau} &= v_z \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив уравнения (4) в систему уравнений (3), уменьшив при этом количество переменных и исключив производную по времени, получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_r) = 0, \\ v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + v \left[\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_r) \right) \right], \\ v_z \frac{\partial v_z}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + v \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \right]. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения этой системы уравнений (5) были применены методы решения дифференциальных уравнений в частных производных и систем таких уравнений. Используя метод разделения переменных суммой [6], в результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} = 0, \\ v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + v \left[\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{2 \frac{\partial v_r}{\partial r} + r \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2}}{r} - \frac{v_r + r \frac{\partial v_r}{\partial r}}{r^2} \right], \\ v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial z} + v \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right]. \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы (6) имеет вид:

$$\begin{cases} p = -\frac{1}{2} \rho C_3^2 r^2 - \frac{1}{2} \frac{\rho C_2^2}{r^2} + C_9 - 2\rho C_3 (C_3 z^2 - C_4 z - C_5 z) + C_8, \\ v_r = \frac{C_2}{r} + C_3 r, \\ v_z = C_5 + C_6 K + C_7 Y - 2C_3 z + C_4. \end{cases} \quad (7)$$

где, $C_2, C_3 \dots C_9$ - константы уравнений; K, Y - функции Бесселя первого и второго порядка соответственно.

Система уравнений (7) неудобна для применения с точки зрения неопределенности влияния изменения давления во времени на величины радиальной и осевой составляющих скорости и наличием в уравнении для определения осевой составляющей скорости функций Бесселя. С точки зрения анализа гидродинамических параметров струи расплава, при ее истечении из отверстий перфорированной оболочки виброгранулятора, определенный интерес представляет решение системы уравнений (3) для случая нестационарного истечения, то есть с учетом изменений, происходящих во времени, и определяется наличием переменной.

Используя для решения системы уравнений (5) метод разделения переменных суммой [5], получим следующее решение:

$$\begin{cases} P = C_{12} + \rho(-C_9 + 4\nu C_8)z + C_{11} + F(\tau), \\ v_r = \frac{C_2}{r} + C_3 r, \\ v_z = C_6 + C_7 \ln(r) + C_8 r^2 - 2C_3 z + C_5 + C_9 \tau + C_{10}. \end{cases} \quad (8)$$

В первом уравнении для определения закона изменения давления вдоль струи входит функция $F(\tau)$, которая зависит от времени. Ее вид можно определить из граничных условий, считая, что начало координат совмещено с центром отверстия, из которого происходит истечение расплава. Тогда при $z=0$:

$$P = \rho(-C_9 + 4\nu C_8)z + P_1(\tau). \quad (9)$$

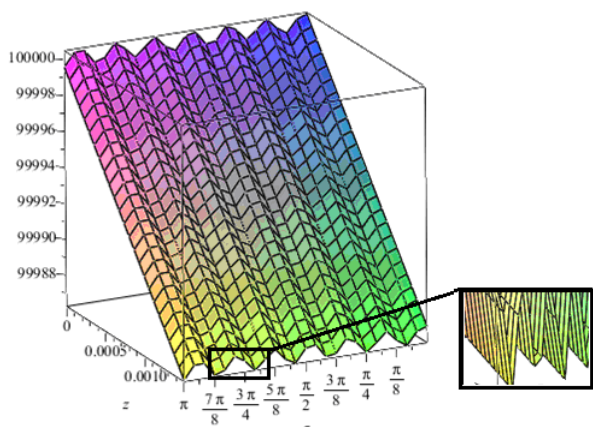
Предположив, что в отверстии, из которого вытекает жидкость, давление изменяется в соответствии зависимости:

$$P_1 = a \sin(b\tau + c) + d. \quad (10)$$

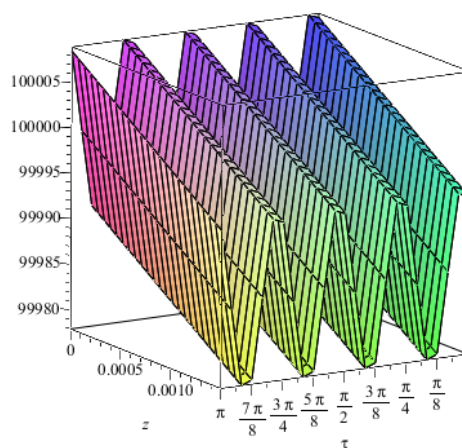
Тогда подставив уравнение (10) в (9) получим:

$$P = \rho(-C_9 + 4\nu C_8)z + a \sin(b\tau + c) + d. \quad (11)$$

В ходе проведения опытов переменными параметрами были напор модельной жидкости перед отверстием и его диаметр, состав модельной жидкости и угол к горизонту, под которым она вытекает из цилиндрического резервуара. Параметрами, которые определялись, были длина сплошной части струи жидкости, диаметр образовавшихся капель и расстояние между ними. При параметрах сигнала начиная с 380 Гц (амплитуда $\delta=100\text{мкм}$) наблюдается синусообразные возмущения на поверхности струи с зонами расширения и сужения. Участок сужения продолговатый, при увеличении амплитуды на поверхности струи образуются спутники. Продолговатый участок при распаде струи образует длинную перетяжку 3,361мм. За счет поверхностных сил образуется капля радиусом 0,977мм и сателлит радиусом 0,302 мм. Средний радиус капли без образования сателлита 1,092мм (рис.2).



а



б



в



Г

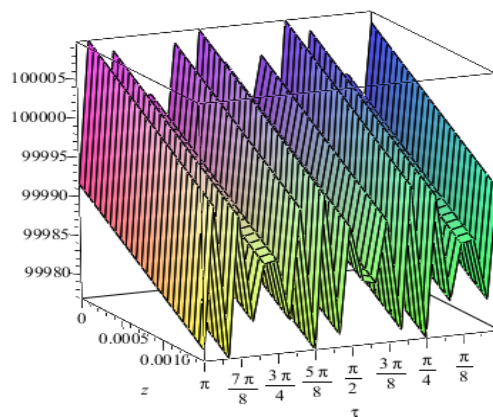
Рис. 2 – Изменение давления вдоль струи со временем: а) при частоте сигнала 380Гц и амплитуде колебаний $\delta=50\text{мкм}$; б) при частоте сигнала 380Гц и амплитуде колебаний $\delta=100\text{мкм}$; в) результаты эксперимента при частоте сигнала 380Гц и амплитуде колебаний $\delta=50\text{мкм}$; г) результаты эксперимента при частоте сигнала 380Гц и амплитуде колебаний $\delta=100\text{мкм}$

При регулярном распаде струи жидкости, могут быть получены равномерные капли как без спутников, так и с ними. Существенным фактором оказались частота и амплитуда колебаний. При амплитуде колебаний 0,05-0,025 мм в объеме жидкости на струи образуются едва заметные начальные перетяжки, которые затем сужались почти при полном сохранении симметрии. При этом в местах перетяжек образуются спутники. Размер спутников увеличивался

с уменьшением частоты начальных возмущений (рис. 3). При увеличении амплитуды конфигурация начальных перетяжек меняется. Они приобретают асимметричную форму относительно плоскости, перпендикулярной оси струи. Капли в момент распада струи имеют грушевидную форму, обращенную острым концом к отверстию утечки. После распада струи, заостренный конец грушевидной капли втягивается в нее за счет силы поверхностного натяжения жидкости.

Отсутствие спутников при грушевидной форме разрыва струи жидкости на капли можно объяснить близостью места

образования спутника от основной капли. Наличие посторонних колебаний в следствие работы другого оборудования, способствует образованию спутников (рис. 5). При наблюдении были отмечены различные варианты движения



а



б

Рис. 3 – Изменение давления вдоль струи со временем при постоянной частоте сигнала и переменной амплитуде колебаний: а – теоретический расчет; б – результаты экспериментальных данных

спутников и их зависимость от параметров сигнала. Полученные выше теоретические изыскания, подтверждаются результатами проведенных исследований. Установленные закономерности регулируемого распада струй жидкости на капли были апробированы при разработке вращающихся вибрационных грануляторов расплава карбамида и аммиачной селитры. Получение показателей гранулометрического состава продукта проводились на агрегате производства карбамида рис. 4.

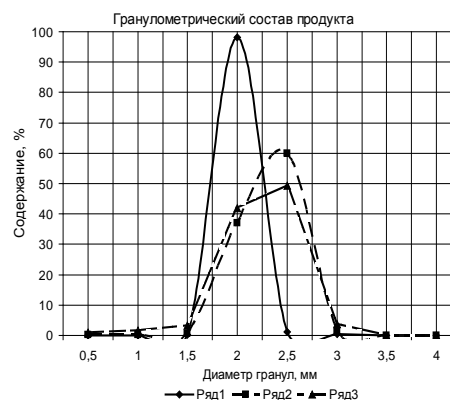


Рис. 4 – Фракционный состав гранул аммиачной селитры

В ходе проведения испытаний вращающийся вибрационный гранулятор обеспечил получение продукции следующего гранулометрического состава: фракция гранул менее 1,0 мм - 0,0-0,2%, фракция гранул 2,0-4,0 мм более 99%, при этом доля гранул фракции 2, 0-2,5 мм – более 98,5%, размер гранул основной фракции - 2,1-2,5 мм. Кроме этого, при изменении частоты вибрации гранулятор обеспечил получение продукции с размером основной фракции гранул 2,5-3,0 мм более 60%.

Выводы. Установленная закономерность регулируемого распада струй жидкости на капли и проведенные исследования подтверждают возможность создания грануляторов расплава азотных удобрений, которые позволят получать гранулы в узком фракционном диапазоне, при максимальном количестве частиц, размер которых может охладиться в этой башне; обеспечить возможность регулировать размер капель в зависимости от температуры подаваемого в башню хладагента. В результате этого, тепловая нагрузка на башню будет близкой к оптимальной, что позволяет уменьшить налипание частиц на рабочих поверхностях башни, и, как результат, сократить расходы энергоносителей на переработку некондиционного продукта и снизить выбросы пыли азотных удобрений в атмосферу, а также улучшить экологическую ситуацию в районе производства.

Список литературы: 1. Аммиачная селитра: свойства, производство, применение [Текст] / А. К. Чернышев, Б. В. Левин, А. В. Туголуков, и др.; под ред. Чернышева А. К., Туголукова А. В. – М., 2009. – 544с. 2. Обертовий гранулятор розплавів [Текст]: Патент на корисну модель №68829 Україна МПК В01 J2/02. / Склябінський В. І., Артюхов А. Є., Скиданенко М. С., Покотило В. М., Іваній А. В., ; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – №u201112007; заявл. 12.10.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. – 4 с. 3. Кочетков, В. Н. Гранулирование минеральных удобрений [Текст] / В. Н. Кочетков // М.: «Химия». – 1975. – 224 с. 4. Холин, Б. Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости [Текст] / Б. Г. Холин // М., "Машиностроение". – 1977. - 182 с. 5. Левич, В. Г. Физико-химическая гидродинамика, [Текст] / В. Г. Левич – 2 изд., М., 1959. – с. 705. 6. Shingareva, I., Solving nonlinear partial differential equations with Maple and Mathematica [Текст] / I. Shingareva, C. Lizarraga-Celaya. – Springer Wien New York, – 2011. – 359 p.

Bibliography (transliterated): **1.** Chernyshov, A. K., Levin, B. V., Tuholukov, A. V. (2009). Ammonium nitrate: Properties, production, use. Moscow, 544. **2.** Rotary fusion granulator:useful model patent №68829 Ukraine МПК B01 J2/02. V. I. Sklabinskiy, A. E. Artukhow, M. S. Skidanenko, M. V. Pokotilo, A. V. Ivanih, patent applicant and holder is Sumy State University.-№u201112007; applic. 12.10.2011; published. 10.04.2012, Bulletin. №7. – 4 p. **3.** Kochetkov,, V. N. (1975) Granulation of fertilizers. Moscow, USSR Chemistry. **4.** Kholin, B. G. (1977). Rotary and vibrating granulators melts and liquid sprays. Moscow, USSR. Mechanical engineering, 224. **5.** Levich, V. G. (1959) Physico-chemical hydrodynamics. Moscow, USSR. 699. **6.** Shingareva, I., Lizarraga-Celaya, C. (2011). Solving nonlinear partial differential equations with Maple and Mathemati. Springer Wien New York, 350.

Поступила (received) 12.05.2014

УДК 369.013

Исследование особенностей модульно - расчетного анализа зажимных приспособлений / А. В. Васильев, С. В. Попов, А. М. Пирнат, О. О. Федик // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.3-8 . – Бібліогр.:4 назв. ISSN 2079-5459

Приведены результаты исследований особенностей использования модульно-расчетного анализа зажимных приспособлений, применяемого для расчета сил, действующих при зажиме различными способами заготовки в процессе ее обработки на металлорежущем оборудовании

Ключевые слова: расчет сил зажима, заготовка, приложение сил, зажимные приспособления, закрепление, зажатие в патроне, зажатие в призмах с прихватом, зажатие в тисках

УДК 621.9.019

Обеспечение точности координированных размеров с использованием операции кернения / Бурдейная В. М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.8-15. – Бібліогр.:8 назв. – ISSN 2079-5459

В статье рассмотрены проблемы обеспечения точности координированных отверстий с помощью использования эмпирических зависимостей для полей рассеяния отверстий, обрабатываемых операцией кернение. Предложены математические модели полей рассеяния размеров от базы и позиционного отклонения осей отверстий, с учетом вылета режущего инструмента и угла при вершине керна. Определен удельный вес факторов при расчете полей рассеяния.

Ключевые слова: точность, отверстие, рассеяния, кернение, сверление, обработка, лунка, твердость, усилие.

УДК 621.791

Рациональные температуры при шлифовании некоторых наплавленных и напыленных на рабочие поверхности деталей сталей, сплавов и химических соединений / В. Г. Лебедев, Н. Н. Клименко, Т. В. Чумаченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.16-21. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрены закономерности изменения фазово-структурного состояния наплавленного или напыленного слоя на рабочих поверхностях деталей машин в зависимости от температуры шлифования. Показано, что температура шлифования может оказывать негативное влияние на надежность и долговечность однофазных сталей и сплавов, не испытывающих фазовые превращения. Даны рекомендации по выбору безопасного температурного режима при различных видах шлифования.

Ключевые слова: наплавленный слой, напыленный слой, температура шлифования, рациональные температуры шлифования.

УДК 621.785.53

Изучение изменения коэффициента диффузии углерода в зависимости от температуры химико-термической обработки стали 20Х/ Костик В. О., Костик Е. А. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.22-29. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрен один из методов цементации стали 20Х с детальным изучением изменения коэффициента диффузии углерода в зависимости от температуры химико-термической обработки. На основе экспериментальных данных выведены математические модели толщины общего диффузионного слоя и каждой ее зоны от температуры цементации в диапазоне 800–950 °С. Полученные математические модели коэффициентов диффузии углерода от глубины диффузионного слоя в диапазоне температур от 800 до 950 °С.

Ключевые слова: сталь, углерод, цементация, диффузионный слой, глубина слоя, микротвердость, коэффициент диффузии.

УДК 614.8

Особенности конструкции и принцип действия новозлектромагнитного клапана-отсекателя / Москвина И. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.30-36. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Представлена новая конструкция электромагнитного клапана-отсекателя, который срабатывает при повышении давления в трубопроводе на 25% от номинального, а также от сигнала, поступающего на соленоид отключения газовой защиты при появлении опасной концентрации метановоздушной смеси. Проведено экспериментальное определение времени срабатывания разработанного клапана. Установлено, что функция распределения интервалов времени срабатывания механической части защиты не противоречит распределению Вейбулла с параметрами $\theta_1 = 1,37$ и $\beta_1 = 16$.

Ключевые слова: взрывобезопасность, клапан-отсекатель, заслонка, разобщитель, герконы, электромагнит, отключающий механизм, распределение Вейбулла.

УДК 621.313

Усовершенствование системы обслуживания асинхронных двигателей/ Полковниченко Д. В., Москвина И. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.36-44. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459

Выполнен анализ путей перехода от планово-предупредительных ремонтов к системе обслуживания по фактическому состоянию короткозамкнутых асинхронных двигателей за счет применения методов диагностики, позволяющих оценить их техническое состояние в рабочих режимах. Для достижения этой цели предложено использовать комплексный критерий исправности, который определяется на основании контроля несимметрии фазных токов статора и угла наклона механической характеристики.

Ключевые слова: асинхронные электродвигатели, техническое обслуживание, обслуживание по фактическому состоянию, диагностика, критерий.

УДК 64.04:658.52

Эволюция напряженно-деформированного состояния оборудования и защитных конструкций АЭС с учетом зон разрушения от влияния сейсмических нагрузок / Гондляр А. В., Оноприенко В. Ю., Никитин Р. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.45-52. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459

На базе системы расчета на прочность АПРОКС разработана математическая модель и проведено численное моделирование процессов разрушения защитной оболочки АЭС в трехмерной постановке, учитывая слои бетона с армоканатами, от воздействия сейсмических нагрузок. Приведены результаты численного моделирования изменения напряженно-деформированного состояния в защитной оболочке АЭС с учетом разрыва предварительно напряженных армоканатов.

Ключевые слова: численное моделирование, защитная оболочка АЭС, сейсмическая нагрузка, армоканаты, напряженно-деформированное состояние.

УДК 681.5.015

Передаточные функции и частотные характеристики тепловых объектов типа цилиндрической стенки / Кубрак А. И., Жученко А. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.53-63. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Представлены передаточные функции и частотные характеристики цилиндрической теплоаккумулирующей стенки как объекта с распределенными параметрами в зависимости от граничных условий на внешней и внутренней поверхностях. Было предложено несколько нетривиальных способов для расчета частотных характеристик цилиндрических теплоаккумулирующих стенок. Полученные результаты могут быть использованы при синтезе систем управления.

Ключевые слова: передаточная функция, частотная характеристика, цилиндрическая теплоаккумулирующая стенка, граничные условия.

УДК 656.615.078.111/.117

Оптимизация процесса перевалки грузов в общетранспортных узлах/ Мурадян А. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.64-73. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459

В статье исследуется один из перспективных подходов к разработке механизма взаимодействия смежных предприятий общетранспортных узлов при управлении перевалкой грузов, трактуемой в качестве непрерывного разветвленного процесса с переменной структурой. Приводится оригинальная экономико-математическая модель оптимизации этого процесса с указанием условий ее эффективной реализации.

Показано, что для постановки адекватной этому процессу задачи управления, необходимо использовать методологию организации согласования решений, отвечающую потребностям управления производственно – экономическими системами.

Ключевые слова: транспортный узел, перевалка грузов, постановка задачи управления грузоперевалкой, оптимизация процесса грузоперевалки, условия реализации модели задачи

УДК 004.056: 004.434

Обоснование требований, разработка и исследование скриптового языка безопасного управления в информационно-телекоммуникационных системах/ Горбенко Ю. И., Бобух В. А., Пономарь В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.73-88. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Статья посвящена вопросам использования скриптовых языков для безопасного управления в информационно-телекоммуникационных системах. В статье рассматриваются существующие скриптовые языки и делается анализ возможности их использования для управления системой. Предъявляются требования к новому скриптовому языку, а также рассматривается один из методов его создания.

Ключевые слова: скриптовый язык, безопасное управление, информационно-телекоммуникационная система, обратная польская запись.

УДК 004.412

Усовершенствование методов оценивания трудозатрат на создание IT-проекта/ Соловьева Е. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.88-96. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрены математические модели оценки трудозатрат на создание IT-проектов, выявлен общий вид модели оценки трудозатрат, предложен подход к повышению точности оценки трудозатрат на создание IT-проектов.

Ключевые слова: IT-проект, трудозатраты, метод функциональных точек, метод объектных точек, модель СОСОМО II.

УДК 681.326

Система поддержки принятия решений при проектировании систем радиочастотной идентификации/ Филиппенко И. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.97-101. – Бібліогр.: 7назв. – ISSN 2079-5459

Данная статья посвящена вопросам разработки системы принятия решений при проектировании систем радиочастотной информации. Предложена архитектура и математическая модель системы принятия решений при проектировании систем радиочастотной идентификации. Приведена структурная схема взаимодействия программных модулей системы при проектировании системы радиочастотной идентификации по совокупности показателей качества.

Ключевые слова: математическая модель, система поддержки принятия решений, радиочастотная идентификация, методы оптимизации, электромагнитная совместимость.

УДК 658.5.011.56

Проблема выбора и критерии оценки средства автоматизированного проектирования/ Шеховцова В. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.101-108. – Бібліогр.: 8назв. – ISSN 2079-5459

В статье приводится градация систем автоматизированного проектирования и особенности каждого уровня. Представлена классификация критериев выбора средства автоматизированного проектирования при разработке САПР, приведены основные характеристики каждого критерия и их признаки. Определены основные подходы к решению проблемы выбора средства автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: проектная среда, жизненный цикл, функциональность, эффективность, реализуемость.

УДК 004.54

Анализ использования информационных критериев у моделях оценки надежности программного обеспечения/ Яковина В.С., Федасюк Д.В., Нитребич О.О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.108-115. – Бібліогр.: 18назв. – ISSN 2079-5459

Эффективное функционирование современных информационных технологий и компьютерной техники невозможно представить без качественной разработки программного обеспечения. В работе представлена модель оценки надежности программного обеспечения с использованием Марковских цепей высшего порядка, что позволяет учесть взаимозависимость выполнения компонент программного продукта. Для поиска оптимального порядка Марковского процесса, который наиболее точно отражает характер исполнения программного обеспечения, проанализированы информационные критерии.

Ключевые слова: надежность программного обеспечения, Марковские модели высшего порядка, индуктивное моделирование, информационные критерии.

УДК 338.486

Совершенствование методики оценки качества и безопасности туристических услуг / Химичева А. И., Шеховцова Я. И. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.116-121. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

В работе предложено использовать методику "Тайный покупатель" для оценки качества и безопасности туристических услуг с использованием структуризации функции качества. Сущность подхода в том, чтобы оценивать качество и безопасность туристических услуг с точки зрения потребителя. Построен алгоритм использования "Mystery Shopping" с определением критериев, которые влияют на качество и безопасность туристических услуг. **Ключевые слова:** туристическая услуга, качество, беспечность, методика "Тайный покупатель", функция качества.

УДК [665.9](#)

Мета-модель процесса трассировки требований при разработке программного обеспечения/ Гамзаев Р. О., Ткачук Н. В., Мартинкус И. О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.121-128. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрены особенности управления требованиями к программному обеспечению (ПО) и обоснована актуальность проблемы разработки методологических основ для построения мета-моделей процессов трассировки требований. Проанализированы некоторые существующие концептуальные модели трассировки требований и на основе их обобщения предложена унифицированная мета-модель процессу трассировки требований с использованием фреймовых спецификаций. Приведен пример возможности технологической реализации этой модели в гибком процессе разработки ПО по методологии Scrum.

Ключевые слова: программное обеспечение, трассировка требований, мета-модель, фрейм, гибкая методология Scrum.

УДК 658.512

Модели выбора кадрового обеспечения офиса в условиях нечеткой информации/ Л. И. Нефёдов, Ю. А. Петренко, А. С. Кононыхин// Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.128-134. – Бібліогр.:10 назв. – ISSN 2079-5459

В статье разработана модель выбора кадрового обеспечения, которая позволяет сформировать персонал офиса с учетом затратных критериев и квалификационных, образовательных и психологических качеств претендентов заданных размыто.

Ключевые слова: кадровое обеспечение, квалификационные показатели, психологические характеристики, бизнес-процесс, нечеткая информация.

УДК 637.142.2

Сравнительная характеристика технологий традиционных и гидролизированных сгущенных консервов с сахаром/ Калинина Е. Д., Корнилова О. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.135-140. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Проведены теоретические и экспериментальные исследования для разработки новых технологий гидролизированных сгущенных молочных консервов с сахаром. Приведены векторные схемы производства новых и традиционных технологий. Проведена сравнительная характеристика технологий традиционных и гидролизированных молочных сгущенных консервов с сахаром.

Ключевые слова: технология, гидролиз, лактоза, пастеризация, стабилизатор, сухие вещества, сгущенные, консервы.

УДК 579.61

Изучение пребиотических свойств заменителя сахара лактитола в условиях in vitro / Хижняк О. С. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.140-148. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Проведены исследования по подтверждению пребиотических свойств заменителя сахара нового поколения – лактитола. Доказано улучшение основных физиологических параметров культуры бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 и лактобацилл штамма *Lactobacillus Plantarum* при введении лактитола в состав питательной ростовой среды, как при культивировании монокультур, так и при совместном культивировании бактерий. Определена оптимальная концентрация лактитола в составе питательной среды для совместного культивирования указанных бактерий.

Ключевые слова: бифидобактерии, лактобациллы, лиофилизат, микрофлора, лактитол, пребиотический компонент, кислотообразование, выживаемость, оптическая плотность, совместное культивирование.

УДК 338.439.63:613.24

Определение целевого сегмента рынка потребителей пищевых продуктов для людей с избыточной массой тела/ Сеногонова Г. И., Притульская Н. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.148-152. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В работе проведены исследования потребительских ожиданий и преимуществ относительно пищевых продуктов для людей с избыточной массой тела и отношения потенциальных потребителей к кондитерским изделиям специального назначения. Чтобы максимально удовлетворить потребности потребителя сегодня, необходимо обеспечить вместе не только беспечность, органолептические, физико-химические но и функциональные свойства разработанных пищевых продуктов.

Ключевые слова: потребители, ассортимент, пищевые продукты, маркетинговые исследования, масса тела.

УДК 621.3.082

Синтез метода идентификации видеоизображения интерференционной полосы поверхности функциональных подложек электронной техники / И. Ш. Невлюдов, А. А. Андрусевич, И. В. Жарикова, А. Г. Резниченко// Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.153-160. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-5459

В статье рассмотрены вопросы обработки изображений в автоматизированной системе контроля шероховатости поверхности подложек для изделий электронной техники. Сформированы требования к

разрабатываемой технологии контроля, выполнены обзор и анализ методов идентификации полутоновых изображений. Синтезирован метод идентификации видеоизображения интерференционной полосы поверхности на основе методов поэлементных преобразований, линейного контрастирования, пороговой обработки и порогового разделения.

Ключевые слова: функциональная подложка, шероховатость поверхности, контроль, автоматизированная система, интерференционный метод, обработка изображения, идентификация.

УДК 621.307.13

Алгоритмы улучшения изображений объектов в инфракрасном диапазоне/ Маркина О. Н., Маркин М. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.161-167. – Бібліогр.:6 назв. – ISSN 2079-5459

Представлен обзор погрешностей, влияющих на качество тепловизионного изображения. Показано, что использование псевдоцветного тепловизионного изображения вместо монохромного позволяет обеспечить лучшее восприятие для анализа изображения оператором. Представлены современные методы обработки телевизионных изображений, которые могут быть использованы в тепловизионном - телевизионном канале наблюдения.

Ключевые слова: изображение, инфракрасный диапазон, телевизионный измерительный канал, тепловизионный измерительный канал.

УДК 537.868.51

Определение параметров электромагнитных видеоимпульсов для увеличения иммуноглобулинов в молозиве коров/ М. В. Горчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.168-172. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

На сохранение новорожденных телят в первые дни жизни особенно влияет количество иммуноглобулина в молозиве и молоке коров. Иммуноглобулины выполняют ведущую роль в гуморальном иммунитете, их уровень отражает функциональную активность В-лимфоцитов. Поэтому для увеличения иммуноглобулинов в молозиве и молоке новотельных коров были проведены исследования по определению биотропных параметров импульсного электрического поля для воздействия на молочную железу новотельных коров с целью увеличения иммуноглобулинов класса LgG и LgM в молозиве и молоке

Ключевые слова: молочная железа коров; импульсы электрического поля; молозиво и молоко коров; иммуноглобулины.

УДК 621.374

Теоретический анализ резонаторной системы для измерения хемилюминесценции семян подсолнуха/ М. А. Чёрная, И. К. Кузмичёв // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.172-178. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Предварительные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что желаемые изменения хода информационных процессов в биологическом объекте (семенах) возможно только при оптимальном сочетании значений биотропных параметров воздействующего электромагнитного поля, для определения которых необходимо использовать метод измерения хемилюминесценции на основе резонаторных систем. В данной статье проведен теоретический анализ открытой резонаторной системы с определением её конструктивных параметров для измерения сверхслабого свечения семян подсолнуха, находящихся под воздействием низкоэнергетического (информационного) электромагнитного поля.

Ключевые слова: семена подсолнуха; частота электромагнитного поля; резонаторная открытая система; хемилюминесценция семян.

УДК 681.2: 620.1

Изменение термопроявлений дефектов материалов и электрооборудования в условиях воздействия климатических факторов/ Прохоренко Е. М., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В., Донец С. Е., Морозова Г. В., Корчинский А. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в

сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.178-186. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Методами тепловизионной термографии осуществлен контроль нарушения структуры материалов и дефектов электрооборудования. Степень проявления термоаномалий от нарушений, обусловлена структурными неоднородностями и внешними искажающими факторами. Изучались зависимости изменения теплового образа от силы воздушного потока и его направления. Показано, что использование параметров приведенного превышения температур, коэффициента дефектности, градиента температурного поля позволяет идентифицировать термоаномалии при воздушных потоках существенно выше нормативных. Методики апробированы на объектах Змиевской ТЭС

Ключевые слова: термопроявления нарушения структуры материалов и дефектов, метод ИК-радиометрии, коэффициент дефектности.

УДК 66.099.2

Исследование процесса истечения струи жидкости из отверстия перфорированной оболочки приллера / Скиданенко М. С., Склабинский В. І., Кононенко Н. П. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.186-192. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

В статье рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса нестационарного истечения струи жидкости из отверстия, что является базовым для расчета виброгранулятора. Определена закономерность регулируемого распада струй жидкости на капли и проведенны исследования, которые подтверждают возможность создания грануляторов розплава, для получения продукта в узком фракционном диапазоне.

Ключевые слова: вынужденные возмущения, виброгранулятор, распад струи, экспериментальные исследования, грануляционная башня

УДК 369.013

Дослідження особливостей модульно

А. В. Васильєв, С. В. Попов, А. М. Пірнат, О. О. Федік// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.3-8 . – Бібліогр.:4 назв. ISSN 2079-5459

Наведені результати досліджень особливостей використання модульно-розрахункового аналізу затискних пристосувань, що застосовується для розрахунку сил, які діють при затисканні різними способами заготовки в процесі її оброблення на металорізальному обладнанні

Ключові слова: розрахунок сил затискання, заготовка, прикладення сил, затискні пристосування, закріплення, затискання у патроні, затискання у призмах із притискачем, затискання у лещатах

-розраху

УДК 621.9.019

Забезпечення точності координованих розмірів з використанням операції керніння/ Бурдейна В. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.8-15. – Бібліогр.:8 назв. – ISSN 2079-5459

В статті розглянуті проблеми забезпечення точності координованих отворів за допомогою використання емпіричних залежностей для полів розсіювання отворів, що оброблюються операцією кернінням. Запропоновані математичні моделі для розрахунку полів розсіювання розмірів від бази та позиційного відхилення осей отворів, з урахуванням вильоту ріжучого інструменту та кута при вершині керна. Визначена питома вага факторів при розрахунку полів розсіювання.

Ключові слова: точність, отвір, розсіювання, керніння, свердління, обробка, лунка, твердість, зусилля, модель.

УДК 621.791

Раціональні температури при шліфуванні деяких наплавлених і напилених на робочі поверхні деталей сталей, сплавів і хімічних сполук (Частина 2) / В. Г. Лебедев, Н. Н. Клименко, Т. В. Чумаченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.16-21. – Бібліогр.:7 назв. – ISSN 2079-5459

У статті розглянуто закономірності зміни фазово-структурного стану наплавленого або напиленого шару на робочих поверхнях деталей машин в залежності від температури шліфування. Показано, що температура шліфування може чинити негативний вплив на надійність і довговічність однофазних сталей і сплавів, що не випробовують фазові перетворення. Дано рекомендації по вибору безпечного температурного режиму при різних видах шліфування.

Ключові слова: наплавлений шар, напилений шар, температура шліфування, раціональні температури шліфування.

УДК 621.785.53

Вивчення зміни коефіцієнту дифузії вуглецю залежно від температури хіміко-термічної обробки сталі 20X / Костик В. О., Костик К. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.22-29. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Розглянуто один з методів цементації сталі 20X з детальним вивченням зміни коефіцієнту дифузії вуглецю залежно від температури хіміко-термічної обробки. На основі експериментальних даних виведені математичні моделі товщини загального дифузійного шару та кожної її зони від температури цементації в діапазоні 800–950 °С. Отримані математичні моделі коефіцієнтів дифузії вуглецю від глибини дифузійного шару в діапазоні температур від 800 до 950 °С.

Ключові слова: сталь, вуглець, цементація, дифузійний шар, глибина шару, мікротвердість, коефіцієнт дифузії.

УДК 614.8

Особливості конструкції і принцип дії нового електромагнітного клапана-відсікача / Москвіна І. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.30-36. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Представлена нова конструкція електромагнітного клапана-відсікача, який спрацьовує при підвищенні тиску в трубопроводі на 25 % від номінального, а також від сигналу, що надходить на соленоїд відключення газового захисту при появі небезпечної концентрації метаноповітряної суміші. Проведено експериментальне визначення часу спрацьовування розробленого клапана. Встановлено, що функція розподілу інтервалів часу спрацьовування механічної частини захисту не суперечить розподілу Вейбулла з параметрами $\tilde{\theta}_1 = 1,37$ і $\beta_1 = 16$.

Ключові слова: вибухобезпечність, клапан - відсікач, заслінка, розобіттель, геркони, електромагніт, що відключає механізм, розподіл Вейбулла.

УДК 621.313

Удосконалення системи обслуговування асинхронних двигунів / Полковніченко Д. В., Москвіна І. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.36-44. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459

Виконано аналіз шляхів переходу від планово-попереджувальних ремонтів до системи обслуговування за фактичним станом короткозамкнених асинхронних двигунів за рахунок застосування методів діагностики, що дозволяють оцінити їх технічний стан в робочих режим. З цією метою запропоновано використовувати комплексний критерій справності, який визначається на підставі контролю несиметрії фазних струмів статора і кута нахилу механічної характеристики.

Ключові слова: асинхронні електродвигуни, технічне обслуговування, обслуговування за фактичним станом, діагностика, критерій.

УДК 64.04:658.52

Еволюція напружено-деформованого стану обладнання та захисних конструкцій АЕС з урахуванням зон руйнування від впливу сейсмічних навантажень/ О. В. Гондляр, В. Ю. Онопрієнко, Р. Є. Нікітін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С. 45-52. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459

На базі системи розрахунку на міцність АПРОКС розроблена математична модель та проведено чисельне моделювання процесів руйнування захисної оболонки АЕС в тривимірній постановці, враховуючи шари бетону з армоканатами, від впливу сейсмічних навантажень. Приведено результати чисельного моделювання зміни напружено-деформованого стану в захисній оболонці АЕС з урахуванням розриву попередньо напружених армоканатів.

Ключові слова: чисельне моделювання, захисна оболонка АЕС, сейсмічне навантаження, армоканати, напружено-деформований стан.

УДК 681.5.015

Передатні функції та частотні характеристики теплових об'єктів типу циліндричної стінки/ Кубрак А. І., Жученко О. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С. 53-63. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Представлені передатні функції та частотні характеристики циліндричної теплоакумлюючої стінки як об'єкта з розподіленими параметрами у залежності від граничних умов на зовнішній і внутрішній поверхнях. Було запропоновано кілька нетривіальних способів для розрахунку частотних характеристик циліндричних теплоакумлюючих стінок. Отримані результати можуть бути використані при синтезі систем керування.

Ключові слова: передатна функція, частотна характеристика, циліндрична теплоакумлююча стінка, граничні умови.

УДК 656.615.078.111/117

Оптимізація процесу перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах/ Мурад'ян А. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.64-73. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459

У статті досліджується один з перспективних підходів до розробки механізму взаємодії суміжних підприємств загальнотранспортних вузлів при управлінні перевалкою вантажів, що

тракується у якості безперервного розгалуженого процесу зі змінною структурою. Приводиться оригінальна економіко-математична модель оптимізації цього процесу із вказівкою умов її ефективної реалізації.

Показано, що для постановки адекватної цьому процесу задачі управління, необхідно використати методологію організації узгодження рішень, що відповідає потребам управління виробничо - економічними системами.

Ключові слова: транспортний вузол, перевалка вантажів, постановка завдання управління вантажооперевалкой, оптимізація процесу вантажооперевалки, умови ефективності моделі задачі

УДК 004.056: 004.434

Обґрунтування вимог, розробка та дослідження скриптової мови безпечного управління в інформаційно-телекомунікаційних системах/ Горбенко Ю. І., Бобух В. А., Пономар В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.73-88. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Стаття присвячена питанням аналізу стану застосування та властивостей скриптових мов для безпечного управління в інформаційно-телекомунікаційних системах. Розглядаються існуючі скриптові мови та робиться аналіз можливостей та умов їх застосування для безпечного управління. Висуваються вимоги до створення нової скриптової мови та розглядається один із методів її реалізації.

Ключові слова: скриптова мова, безпечне управління, інформаційно-телекомунікаційна система, зворотній польський запис.

УДК 004.412

Вдосконалення методів оцінювання витрат праці на створення ІТ-проекту / Соловйова К. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.88-96. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Розглянуто математичні моделі оцінки витрат праці на створення ІТ-проектів, виявлено загальний вид моделі оцінки витрат праці, запропонований підхід до підвищення точності оцінки витрат праці на створення ІТ-проектів

Ключові слова: ІТ-проект, витрати праці, метод функціональних точок, метод об'єктних точок, модель СОСОМО II.

УДК 681.326

Система підтримки прийняття рішень при проектуванні систем радіочастотної ідентифікації / Філіппенко І. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.97-101. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-5459

Стаття присвячена питанням розробки системи прийняття рішень при проектуванні систем радіочастотної інформації. Запропонована архітектура і математична модель системи прийняття рішень при проектуванні систем радіочастотної ідентифікації. Наведено структурну схему взаємодії програмних модулів системи при проектуванні системи радіочастотної ідентифікації за сукупністю показників якості.

Ключові слова: математична модель, система підтримки прийняття рішень, радіочастотна ідентифікація, методи оптимізації, електромагнітна сумісність.

УДК 658.5.011.56

Проблема вибору та критерії оцінки засобу автоматизованого проектування/ Шеховцова В. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.101-108. – Бібліогр.:8 назв. – ISSN 2079-5459

В статті приведена градація систем автоматизованого проектування та особливості кожного рівня. Представлена класифікація критеріїв щодо вибору засобу автоматизованого проектування при розробці САПР, приведені основні характеристики кожного критерія та їх ознаки. Визначені головні підходи до вирішення проблеми вибору засобу автоматизованого проектування.

Ключові слова: проектне середовище, життєвий цикл, функціональність, ефективність, реалізованість.

УДК 004.54

Аналіз використання інформаційних критеріїв у моделях оцінки надійності програмного забезпечення/ Яковина В.С., Федасюк Д.В., Нитребич О.О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.108-115. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459

Ефективне функціонування сучасних інформаційних технологій та комп'ютерної техніки неможливо уявити без якісної розробки програмного забезпечення. У роботі представлено модель оцінювання надійності програмного забезпечення з використанням Марковських ланцюгів вищого порядку, що дозволяє врахувати взаємозалежність виконання компонент програмного продукту. Для пошуку оптимального порядку Марковського процесу, що найбільш точно відображатиме характер виконання програмного забезпечення, проаналізовані інформаційні критерії.

Ключові слова: надійність програмного забезпечення, Марковські моделі вищого порядку, індуктивне моделювання, інформаційні критерії.

УДК 338.486

Удосконалення методики оцінки якості та безпеки туристичних послуг/ Хімичева Г. І., Шеховцова Я. І. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.116-121. – Бібліогр.:12 назв. – ISSN 2079-5459

У роботі запропоновано використовувати методику «Таємний покупець» для оцінки якості та безпеки туристичних послуг з використанням структурування функції якості. Сутність підходу в тому, щоб оцінювати якість та безпеку туристичних послуг з погляду споживача. Побудовано алгоритм використання «Mystery Shopping» з визначенням критеріїв, що впливають на якість та безпеку туристичних послуг.

Ключові слова: туристична послуга, безпека, методика «Таємний покупець», функція якості.

УДК 665.9

Мета-модель процесу трасування вимог при розробці програмного забезпечення/ Гамзаєв Р. О., Ткачук М. В., Мартінкус І. О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.121-128. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Розглянуто особливості трасировки вимог до програмного забезпечення (ПЗ) та обґрунтована актуальність проблеми розробки методологічних основ для побудови мета-моделей процесів трасування вимог. Проаналізовані деякі існуючі концептуальні моделі трасування вимог та на підставі їх узагальнення запропонована уніфікована мета-модель процесу трасування вимог із використанням фреймових специфікацій. Наведено приклад можливої технологічної реалізації цієї моделі в гнучкому процесі розробки ПЗ за методологією Scrum

Ключові слова: програмне забезпечення, трасування вимог, мета-модель, фрейм, гнучка методологія Scrum

УДК 658.512

Моделі вибору кадрового забезпечення офіса в умовах нечіткої інформації/ Л. І. Нефёдов, Ю. А. Петренко, А. С. Кононыхин// Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.128-134. – Бібліогр.:10 назв. – ISSN 2079-5459

В статті розроблена модель вибору кадрового забезпечення, которая позволяет сформировать персонал офиса с учетом затратных критериев и квалификационных, образовательных и психологических качеств претендентов заданных размыто.

Ключевые слова: кадровое обеспечение, квалификационные показатели, психологические характеристики, бизнес-процесс, нечеткая информация.

УДК 637.142.2

Порівняльна характеристика традиційних технологій і гідролізованих згущених консервів з цукровом/ Калініна О. Д., Корнілова О. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.135-140. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження для розробки нових технологій гідролізованих згущених молочних консервів з цукром. Наведені векторні схеми виробництва нових

і традиційних технологій. Проведена порівняльна характеристика технологій традиційних і гідролізованих згущених молочних консервів з цукром.

Ключові слова: технологія, гідроліз, лактоза, пастеризація, ста-билизатор, сухі речовини, згущені, консерви.

УДК 579.61

Вивчення пребіотичних властивостей замітника цукру лактитолу в умовах *in vitro* / Хижняк О. С. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.140-148. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Проведено досліди з метою підтвердження пребіотичних властивостей замітника цукру нового покоління – лактитолу. Доведено покращення основних фізіологічних параметрів культури біфідобактерій штаму *Bifidobacterium bifidum* ЛВА-3 та лактобацил штаму *Lactobacillus Plantarum* при введенні лактитолу до складу поживного середовища культивування, як при культивуванні монокультур, так і при сумісному культивуванні. Визначена оптимальна концентрація лактитолу у складі поживного середовища для сумісного культивування вказаних штамів бактерій.

Ключові слова: біфідобактерії, лактобацили, ліофілізат, мікрофлора, лактитол, пребіотичний компонент, кислотоутворення, кількість живих бактерій, оптична густина, сумісне культивування.

УДК 338.439.63:613.24

Визначення цільового сегменту ринку споживачів харчових продуктів для людей з надлишковою масою тіла / Сєногорова Г. І., Притульська Н. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.148-152. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В роботі проведені дослідження споживачьких очікувань та переваг щодо харчових продуктів для людей з надлишковою масою тіла та відношення потенційних споживачів до кондитерських виробів спеціального призначення. Щоб максимально задовольнити потреби споживача сьогодні, необхідно забезпечити разом не тільки безпечність, органолептичні, фізико-хімічні але й функціональні властивості розроблених харчових продуктів.

Ключові слова: споживачі, асортимент, харчові продукти, маркетингові дослідження, маса тіла.

УДК 621.3.082

Синтез методу ідентифікації відеозображення інтерференційної смуги поверхні функціональних підкладок електронної техніки / І. Ш. Невлюдов, А. А. Андрусевич, І. В. Жарікова, О. Г. Резніченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.153-160. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-5459

У статті розглянуті питання обробки зображень у автоматизованій системі контролю шорсткості поверхні підкладок для виробів електронної техніки. Сформовано вимоги до розроблюваної технології контролю, виконано огляд і аналіз методів ідентифікації півтонових зображень. Синтезований метод ідентифікації відеозображення інтерференційної смуги поверхні на основі методів поелементних перетворень, лінійного контрастування, порогової обробки і порогового розділення.

Ключові слова: функціональна підкладка, шорсткість поверхні, контроль, автоматизована система, інтерференційний метод, обробка зображення, ідентифікація.

УДК 621.307.13

Алгоритми покращення зображень об'єктів в інфрачервоному діапазоні/ О. М. Маркіна, М. О. Маркін // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 26 (1069). – С.161-167. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

Представлено огляд похибок, що впливають на якість тепловізійного зображення. Показано, що використання псевдокольорового тепловізійного зображення замість монохромного дозволяє забезпечити краще сприйняття для аналізу зображення оператором. Представлено сучасні методи обробки телевізійних зображень, що можуть бути використані в тепловізійному - телевізійному каналі спостереження.

Ключові слова: зображення, інфрачервоний діапазон, телевізійна вимірювальний канал, тепловізійний вимірювальний канал.

УДК 537.868.51

Визначення параметрів електромагнітних відеоімпулсів для збільшення імуноглобулінів у молозиві корів/ М. В. Торчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.168-172. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

На збереження новонароджених телят в перші дні життя особливо впливає кількість імуноглобуліну в молозиві і молоці корів. Імуноглобуліни виконують провідну роль в гуморальному імунитеті, їх рівень відображає функціональну активність В-лімфоцитів. Тому для збільшення імуноглобулінів у молозиві і молоці новотельних корів були проведені дослідження з визначення біотропного параметрів імпульсного електричного поля для впливу на молочну залозу новотельних корів з метою збільшення імуноглобулінів класу LgG і LgM в молозиві і молоці.

Ключові слова: молочна залоза корів; імпульси електричного поля; молозиво і молоко корів; імуноглобуліни.

УДК 621.374

Теоретичний аналіз резонаторної системи для вимірювання хемілюмінесценції насіння соняшника/ М. О. Чорна , І. К. Кузмичев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.172-178. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Попередні теоретичні і експериментальні дослідження показують, що бажані зміни ходу інформаційних процесів у біологічному об'єкті (насінні) можливо тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів електромагнітного поля, для визначення яких необхідно використати метод виміру хемілюмінесценції на основі систем резонаторів. У цій статті проведений теоретичний аналіз відкритої системи резонатора з визначенням її конструктивних параметрів для виміру надслабкого світіння насіння соняшнику, що перебуває під впливом низькоенергетичного електромагнітного поля.

Ключові слова: насіння соняшнику; відкрита система резонатора; хемілюмінесценція насіння.

УДК 681.2: 620.1

Зміна термопроявів дефектів матеріалів та електрообладнання в умовах впливу кліматичних факторів/ Прохоренко Є. М., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В., Донець С. Є., Морозова Г. В., Корчинський А. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.178-186. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Методами тепловізійної термографії здійснено контроль зміни структури матеріалів і дефектів електрообладнання. Ступінь прояву термоаномалій в залежності від пошкоджень, зумовлена структурними неоднорідностями і зовнішніми факторами. Вивчалась залежність зміни теплового образу від сили повітряного потоку і його напрямку. Показано, що використання параметрів приведенного перевищення температур, коефіцієнта дефектності, градієнта температурного поля, дозволяє ідентифікувати термоаномалії при повітряних потоках істотно вище нормативних. Методики апробовані на об'єктах Зміївської ТЕС

Ключові слова: термопроявлення змін структури матеріалів і дефектів, метод ІЧ- радіометрії, коефіцієнт дефектності

УДК 66.099.2

Дослідження процесу витікання струменя рідини з отворів перфорованої оболонки прилеру/ Скиданенко М. С., Склабінський В. І., Кононенко М. П. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С.186-192. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-5459

У статті розглянуто результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу нестационарного витікання струменя рідини з отвору, що є базовим для розрахунку віброгранулятора. Установлена закономірність регульованого розпаду струменів рідини на каплі та проведені дослідження, які підтверджують можливість створення грануляторів розплаву, для отримання продукту в вузькому фракційному діапазоні.

Ключові слова: вимушені збурення, віброгранулятор, розпад струменя, експериментальні дослідження, грануляційна вежа.

ABSTRACT

The clamping devices modularhome analysis features research/ A. V. Vasilyev, S. V. Popov, A. M. Pirnat, O. O. Fedik//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014.-№ 26 (1069).- P.3-8. Bibliogr.:4 . ISSN 2079-5459

The results of investigations of the peculiarities of using the modular-design analysis of clamping devices, used for calculation of forces acting upon clip various ways of preparation in the process of its processing on metal-cutting equipment

Keywords: calculation of forces clip, harvesting, annex forces, clamping devices, consolidation, clamping chuck, boxed in prisms with sticking, clamped in a vice

Ensure accuracy coordinated size using operations kerninnya/ Burdeyna V.//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P.8-15. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-5459

The article considers the problem of coordinated precision holes by using empirical relationships for the stray fields of holes, handles operations kerneniya. A mathematical model for calculating the stray fields from the database size and positional deviation axis holes, given the departure of the cutting tool and the angle at the top of the core. Determined the proportion of factors when calculating the stray fields.As a result, a full factorial experiment and mathematical processing experiments proposed optimization equation to determine the diameter and depth of the imprint.Dependency graphs stray fields from the base and offset size kerninnya operations, deployment and drilling in the processing of aggregate processing. The influence of each of the significant factors for the accuracy of coordinated sizes.

Keywords: accuracy, hole, scattering kerninnya, drilling, machining, groove, hole, strength, force, model.

Rational temperature when grinding some overlaid and deposited on the working surfaces of parts of machins of steels, alloys and chemical compounds / V. G. Lebedev, N. N. Klimenko, T. Chumatchenko //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P.16-21. – Bibliogr.:7 . – ISSN 2079-5459

The article considers the changes in patterns of phase-structural state of the deposited or sprayed layer on the working surfaces of machine parts, depending on the temperature grinding. It is shown that the temperature of grinding can have a negative impact on the reliability and durability of single-phase steels and alloys that do not undergo phase transformations. Recommendations were made for choosing a safe temperature control in various types of grinding. It is also shown that when grinding non ferrous alloys, especially titanium, temperature of mechanical treatment should be strictly seasoned, not to obtain thermal defects on grinding surface.

Keywords: deposited layer, sprayed layer, temperature of grinding, rational temperature of grinding.

The study of changes of the carbon diffusion coefficient depending on the temperature chemical-thermal treatment steel 20X/ Kostyk V., Kostyk K. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P.22-29. – Bibliogr.:6. – ISSN 2079-5459

Describes a method of cementation steel 20X with a detailed study of changes of the carbon diffusion coefficient depending on the temperature chemical-thermal treatment. On the basis of experimental data received mathematical models of the thickness of the general diffusion layer and each of its zone of temperature cementation in the range of 800 is 950 °C. The lowest layer thickness corresponds zaevtektoidnyh area, and the highest zaevtektoidnyh area. General diffusion layer varies from 0.18 to 2.05 mm with increasing temperature of 800-950 °C respectively within two hours of exposure. Microhardness of the surface varies from 5.5 to 6.3 HPa when the temperature of 800-950 °C accordingly. With increasing temperature the distribution of microhardness from the surface to the core smoother, which is of great positive significance for the further operation of the product. Considered and studied in detail the processes of diffusion of carbon with carburizing steel 20X mathematical models of diffusion coefficients general diffusion layer and each of its zones from the depths of the diffusion layer in the temperature range between 800 and 950 °C with verify the adequacy of the model the correlation coefficient.

Keywords: steel, carbon, cementation, diffusion layer, layer depth, microhardness, the diffusion

coefficient.

Design features and operating principle of the new electromagnetic safety valve / Moskvina I. I. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P.30-36. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-5459

An experimental determination of the response time of the developed electromagnetic safety valve, depending on the emergency increase the pressure in the pipeline, as well as the concentration of gas in the room above the rated level. The proposed design of safety valve includes two functions: fire emergency increase in pressure in the pipeline; triggered when the concentration of gas in the room above the rated level. Reliability of the proposed safety valve above the existing, as it has fewer moving parts to disengage. Found that the distribution function of the response time intervals mechanical protection is not contrary to the Weibull distribution with parameters $\theta_1 = 1,37$ and $\beta_1 = 16$.

Keywords: explosion, safety valve, damper, uncoupler, reed switches, solenoid, shut-off mechanism, the Weibull distribution.

Improvement of system service of induction motors / Polkovnichenko D. V., Moskvina I. I. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P.36-44. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-5459

The researches of opportunities of an estimation of a technical condition of asynchronous electric motors with short-circuited rotors after repair are carried out. The analysis of the transition from a planned preventive maintenance system to service the actual condition of short induction motors through the use of diagnostic methods to assess their technical condition in the working mode. To this end, proposed to use complex criteria serviceability, which is determined based on the control of asymmetry stator phase currents and the angle of inclination of the mechanical properties. The results of a research on computer of sensitivity of the given criterion for various defects of windings of the asynchronous electric motor are given.

Keywords: induction motors, preventive maintenance, maintenance of the actual condition, diagnosis.

The evolution of the stress-strain state of npps equipment and protective structures considering zones of destruction from the effects of seismic loads / Gondliakh A., Onopriienko V., Nikitin R. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – X: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 26 (1069). – С. 45-52. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459

The present level of development of nuclear power needs for further improvement of nuclear power plants. This investigation can provide further improvement of nuclear power plants to increase their reliability, safety, technical and economic performance, and identify and justify the most promising areas for improvement of basic equipment.

In this regard, the definition of a component of the stress-strain state of containment is performed within the space of the task mechanics of deformable solids, so that the impact of stress-strain state on the ropes prestressing reinforcement is essentially not axisymmetric character. The nonlinear physical processes occurring in the containment was apply special eight node curved finite elements with polyline law amendments functions. It allows to receive data specified stress-strain state not only in the membrane of the shell, but also to investigate the change in the more massive construction sites.

Testing of the developed mathematical model of containment was performed as part of a program of complex calculations on the strength “APROKS”, which was modified in order to increase the effectiveness of the setting of initial data for calculation of complex spatial structures and enable visualization finite-element model and load default settings.

An analysis of the numerical simulation was found maximum principal stress in terms of the gap by two cables located "cross the cross" and two ropes arranged parallel to each other, which revealed the possible destruction of the area in consequence of horizontal seismic waves within 20 seconds.

Keywords: nuclear power plant, containment, finite element method, stress-strain state.

Transfer functions and frequency responses of thermal objects cylindrical wall type/ Kubrak A., Zhuchenko O. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 53-63. – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

From mathematical modeling point of view a lot of plants in different industries can be considered as cylindrical heat storage walls with distributed parameters. The aim of this study was to receive transfer functions and frequency responses as mathematical models of above mentioned plants. To solve this problem the main equation of heat conductivity was put in basis. In addition three kinds of boundary conditions on external and internal wall surfaces were taken into account. Different combinations of boundary conditions on external and internal wall surfaces result in different kinds of transfer functions and frequency responses. These functions are transcendental and perhaps must be simplified for practical using. It was proposed few nontrivial ways in order to calculate frequency responses of cylindrical heat storage walls. Obtained results can be used for researching of plants, which can be considered as cylindrical heat storage walls with distributed parameters, and for control system synthesis.

Keywords: transfer function, frequency response, cylindrical heat storage wall, boundary conditions.

Optimization of transshipment processes in general transport nodes/ Muradian A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 64-73. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459

The problem of optimization of transshipment processes in general transport nodes is the heart of the theory of ensuring the effective cooperation of adjacent types of transport, the origin of which goes to the middle of the XIX century.

The article is devoted to one of the promising approaches to the development of mechanism of cooperation of adjacent enterprises of general transportat nodes in the management of cargo handling, interpreted as branching process with variable structure. Provides original model of optimization of shipment specifying the conditions for its effective implementation.

It is shown that for staging an adequate process management tasks, it is necessary to use the methodology of the organization of solutions agreement that meet the needs of production and economic systems management.

Keywords: transport node, cargo transshipment, task management, cargo transshipment, transshipment optimization, conditions of efficiency of the model of problem

Substantiation requirements, development and research of the scripting language in the secure control of information and telecommunication systems/ Gorbenko Y. I., Bobukh V. A., Ponomar V. A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 73-88. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459

The article deals with the using of scripting languages for secure management of information and telecommunication systems. The article examines existing scripting languages and analyzes opportunity of using them to control the system. Based on this analysis, creating of new specialized scripting language is suggesting, and one of the methods of its creation is considering.

In describing the requirements for the scripting language, the rationale is doing for their implementation for the correct operation of the language compiler when processing programs. It is necessary for the secure operation of the cryptographic module through which information telecommunication system is controlled.

After the implementation of the scripting language according to the requirements of specification and the described method, a comparative assessment of this language with other languages is doing.

Keywords: scripting language, secure management, information and telecommunication system, Reverse Polish notation.

Improvement of methods for labor estimating for creation of IT-Project/ Solovieva E. I. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 88-96. – Bibliogr.: . – ISSN 2079-5459

The mathematical model of an estimation of labor costs for the creation of IT-projects is considered, identified a general view of labor estimation model, an approach to improve the accuracy of estimates of labor costs for the creation of IT-projects.

Keywords: IT-project, labor costs, functional points method, object points method, COCOMO II model.

Decision support system for the design rfid systems/ Filippenko I. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 97-101. – Bibliogr.:7. – ISSN 2079-5459

This article focuses on the development of decision-making system in the design of radio frequency information. Further developed methods of designing systems on chips for RFID -based multicriteria evaluation and optimization , which resolves the problem of synthesizing system according to predetermined criteria of quality and reduce the time for design work . Based on the analysis of requirements for technical parameters and constraints offered and proved system evaluation criteria for project decisions when designing the system . Developed a tool to calculate the optimum parameters of RFID systems , which allow on-line to automate the design process equipment in accordance with the input data , and selects the optimal settings of internal nodes of the equipment.

Keywords: mathematical model, a decision support system, radio frequency identification, optimization methods, electromagnetic compatibility.

The problem of selection and evaluation criteria for automated design/ Shekhovtsova V. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 101-108. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-5459

Current issues becomes the integration of a wide range of capabilities of computer-aided design, which automates not individual items, and the whole process of design, construction and manufacturing. The emphasis is on the increase in capacity and efficiency of the individual phases of design methods using genetic algorithms, neural networks and database systems. Growth CAD functionality while increasing complexity of some functions has led to the problem of choosing the optimal means of automation based on human factors and user interface. The article provides a gradation of CAD systems and features of each level. The classification criteria for selecting a computer-aided design in the development of CAD, the main characteristics of each criterion and their signs. The main approaches to solving the problem of choosing means of automated design.

Keywords: design environment, life cycle, functionality, efficiency, feasibility.

Analysis of usage of information criteria in software reliability assessment model/ Yakovyna V., Fedasyuk D., Nytrebych O. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 108-115. – Bibliogr.:18 . – ISSN 2079-5459

In lots of prediction and assessment software reliability models assumption of independence executions of its components is a simplification of the real software behavior. The usage of higher order Markov chains allows taking into account the dependencies of software executions during the reliability prediction. The optimum order of Markov chain depends on empirical data and therefore, according to all the software, it will be different. Thus we get the problem of inductive modeling, which is necessary to implement the structural identification of usage software model. The purpose of the structural identification is to determine the optimal order Markov process, which reflects the software system character most accurately for its reliability analysis. In this paper a criteria of the optimal model order determination for determining the most suitable for the problems analysis multi-component software reliability is analyzed. This paper shows that in case of the small sample size of software reliability behavior empirical data, BIC criterion should be used, which should facilitate the avoidance of unjustified increase in the optimal model order due to the lack of empirical data, while the presence of a large empirical data sample makes a matter of criteria choice open and in need of experimental studies. Results and conclusions may be useful for scientific tasks of software reliability analysis and the construction of a software system for reliability automated analysis in the software industry.

Keywords: software reliability; higher order Markov chain; inductive modeling; information criteria.

Improving the methodology for estimating the quality and safety of travel services/ Khimicheva G., Shekhovtsova Y. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 116-121. – Bibliogr.:12 . – ISSN 2079-5459

Travel services as a form of meeting the needs of people for a rest greatly affects the lives of the global community. Today, there is substantial research for using the "Mystery Shopping" methodology in terms of prioritizing the stages of its implementation. Therefore, principles and measures of prioritizing the stages were first proved in the paper. For this, the "Mystery Shopping" methodology was analyzed by applying a structured quality function. As a result of the study, based on the questionnaire, criteria were determined and it was found that the "Mystery Shopping" methodology is functional enough to determine the quality and safety of travel services. For effective use of this technique, algorithm, testing of which has proved that the competence of personnel is a key factor that influences improving the quality and competitiveness of travel services was developed. To extend the range of consumers of travel product in travel agencies, it was proposed to implement quality control systems, based on the TQM principles, including leadership and management.

Keywords: travel service, quality, safety, "Mystery Shopping" methodology, quality function.

Requirements traceability meta-model in software development/ Gamzayev R., Tkachuk M., Martinkus I. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI", 2014. – № 26 (1069).- P. 121-128. – Bibliogr.:12 . – ISSN 2079-5459

The features of requirements traceability in software development are considered, and the problem actuality to elaborate methodological basic for requirements meta-model building is proved. This problem is so important, because the increasing efficiency of requirements engineering processes is one of the key success factors during using of any software development methodologies . Especially important that the searching for a rational methodological compromise in modeling and requirements management , which should give the possibility to show these mechanisms are sufficiently structured and at the same time in a visual mode , which allows to obtain quantitative assessment of the specific requirements in the software development process .

Some existing conceptual models of requirements traceability are analyzed, and based of their generalization the unified requirements traceability meta-model with usage of frame-centered specifications are proposed. The example of possibility for technological implementation of this model in agile-methodology Scrum is introduced.

In the future, this approach is proposed to improve by supplementing the meta-model requirements traceability with such logic components and technological implementation mechanisms that are currently being purposed in a new development concept of complex software systems, so called object-oriented design or domain -driven development.

Keywords: software, requirements traceability, meta-model, frame, agile-methodology Scrum

Model of selection of staffing of the office in fuzzy information/ L. Nefedov, Yu. Petrenko, A. Kononykhin//Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI", 2014. – № 26 (1069).- P. 128-134. – Bibliogr.:10 . – ISSN 2079-5459

Analysis of the problem showed that the criteria for deciding on the choice of staffing are fuzzy and do not account for the complex and specialized area of activity of the applicant. In the article developed a model selection staffing, which allows you to create office staff based on the criteria of cost and qualifications, educational and psychological qualities of applicants given blurry. Proposed model of staffing of selection, which unlike conventional approaches allow you to take a decision on the choice of personnel appropriate qualifications, educational and psychological qualities of applicants and clearly defined costs, and get optimistic and pessimistic variant solutions to these criteria it gives an opportunity to increase the validity of decisions.

Keywords: staffing, performance qualification, psychological characteristics, business process, fuzzy information.

A comparative analysis of technologies of traditional and hydrolyzed sweet condensed milk/ Kalinina E., Kornilova O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI", 2014. – № 26 (1069).- P. 135-140. – Bibliogr.: . – ISSN 2079-5459

Theoretical and experimental studies for developing new technologies of low-lactose (hydrolyzed) sweet condensed milk were conducted. The enzymatic hydrolysis of lactose enables developing the technologies of dairy products with reduced content of lactose. Low-lactose products are considered as functional food products for people with lactose intolerance and this allows extending the range of dairy

products, improving the organoleptic characteristics of products and excluding the possibility of lactose crystallization in sweet condensed milk during storage. During the enzymatic hydrolysis, lactose is split into monosaccharides glucose and galactose, the organoleptic values are changed (milk becomes sweet), depending on the level of lactose hydrolysis the sweetness of milk is increased, which enables reducing the concentration of sucrose in the formulation of sweet condensed milk.

Vector schemes of manufacturing the new and traditional technologies were given. The comparative analysis of the technologies of traditional and hydrolyzed sweet condensed milk was performed.

Keywords: technology, hydrolysis, lactose, pasteurization, stabilizer, dry solids, condensed milk.

Study of prebiotic sugar substitute properties of laktitol in vitro/ Khizhnyak O.S. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 140-148. – Bibliogr.:10 . – ISSN 2079-5459

Several experiments on confirmation of prebiotic properties sugar substitute of new generation – laktitol are suggested. It is stated that laktitol has a good growth rate and the level of accumulation of biomass, and its main indicators are not inferior to the most common and effective prebiotic component – lactose. The influence of the basic physiological parameters of culture Bifidobacteria strain Bifidobacterium bifidum LVA-3 and Lactobacillus strain of Lactobacillus Plantarum on the introduction laktitol in structure of the growth medium is demonstrated. The results show that 1% it is optimal concentration laktitol in the culture medium for joint cultivation of bacteria. It is concluded that laktitol will be part of the bacterial preparation.

Keywords: Bifidobacteria, Lactobacilli, liophilisate, microflora, laktitol, prebiotic component, kislotoobrazovanie, survival, optical density, general cultivation.

Determination of having a special purpose segment of market of users of food products for people with surplus mass of body / Senogonova G., Prytul'ska N. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 148-152. – Bibliogr.:10 . – ISSN 2079-5459

In this article showed market segmentation for people with overweight and attitudes of potential consumers to confectionery products for special purposes. In order to meet the needs of the consumer, it is necessary to ensure the organoleptic, physicochemical and functional properties of the developed products. The study population's demand, especially in the little-known new products, particularly functional food products is important because it allows you to determine the potential of the product on the market, namely to discover the relation between supply and demand determine the best segment of the market, pricing policy, the maximum demand for the product and so on. Modernity requires putting the basis for optimizing the range of functional foods is not the possibility of a quick profit and meeting the needs of a specific target segment of consumers with regard to their tastes. Moreover, in a highly competitive manufacturer needs quickly not only to analyze and react, but also provide for the needs of consumers

Keywords: overweight, assortment, organoleptic, food products, marketings researches, mass of body, functional foods.

The method synthesis of the surface interferential strip video image identification for electronic devices functional substrates/ I. Nevliudov, A. Andrusevich, I. Zharikova, A. Reznichenko//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 153-160. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-5459

Surface roughness of a functional substrates testing is a responsible stage in electronic devices production as this geometrical parameter of surface quality influences both of production process, and stability of finished product work. Automation of a surface roughness testing process is an actual task in the conditions of universal implementation of information technologies in instrument-making productions. The solution of this task will allow to increase reliability and to reduce labor input of testing, and also to increase speed of measurements results processing. In the article the questions of images processing in automated testing system for substrates surface roughness for products of electronic equipment are considered. The requirements to developed technology of testing are formulated, the review and the analysis of grayscale images identification methods are executed. The method of identification of the

surface interferential strip video image on the basis of methods of bit-by-bit transformations, linear contrasting, threshold processing and threshold division is synthesized.

Keywords: functional substrate, surface roughness, testing, the automated system, interference method, image processing, identification.

Algorithms for improving the image of the object in the infrared range / Markina O., Markin M. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 161-167. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-5459

One of the main characteristics of the optoelectronic thermal imaging observing systems that determine the efficiency of solving targets by operator is the quality of the formed image. The quality of the image is largely linked to its resolution and precision of mapping boundaries (edges) of objects of interest. This paper presents an analytical overview of the errors that affect the quality of the thermal image. It is shown that the use of thermal pseudo color image instead of monochrome allows better perception to analyze the image by operator. Proposed and substantiated to use the blue-green range of colors for the image. Due to individual emotional characteristics of the human operator we provide the possibility for manual selection of colors of thermal image. In the application of thermal imaging device that is hardware generated to enhance the informativeness of image and improve their quality, it makes sense to use means of processing signals generated by photomatrix, namely:

- Method of converting two-dimensional images in a discrete form, which makes it possible to obtain the transfer function of the receiver, which takes into account the size of the pixel, matrix size and fill factor of sensitive elements;

- Method of increasing resolution of image by software methods;

- Algorithms designed to detect faults in the matrix elements, which eliminates image artifacts;

- Digital signal processing algorithms that allow compression and image segmentation, nonlinear filtering noise.

Keywords: image, infrared band, television measuring channel, thermal measuring channel.

Determination of parameters of electromagnetic pulses which allow to increase immunoglobulins in colostrum of cows/ M. V. Torchuk //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 168-172. – Bibliogr.:11 . – ISSN 2079-5459

Due to inadequate feeding of pregnant cows and a violation of their upkeep technology immunodeficiency is being observed among birth calves. Thus calves require preventive correction of immune status. The preservation of newborn calves in the first days of life is being affected by the amount of immunoglobulins in colostrum and milk cows. Immunoglobulins perform a leading role in humoral immunity, their level reflects the functional activity of B-lymphocytes. Therefore, to increase immunoglobulins in colostrum and milk of cows studies were made to determine the parameters biotropic pulsed electric field (pulse amplitude, frequency and pulse repetition period; exposure level) which effects the mammary gland of cows and allows to increase immunoglobulin LgG LgM and colostrum and milk. Immunoglobulins in colostrum and milk of cows that enter the body of newborn calves prevent the appearance of immunodeficiency and deterrent effect of neonatal pathology in calves.

Keywords: bovine mammary; pulses of electric field; colostrum of cows; immunoglobulins.

Theoretical analysis of resonator system for measuring of chemiluminescence of sunflower seeds/ Chornaya M., Kuzmichev I. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 172-178. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

Preliminary theoretical and experimental studies show that the desired change in the course of information processes in a biological object (seeds) exposed to electromagnetic fields is only possible with optimum values of biotropic parameters. It is quite difficult to determine the optimal parameters of the electromagnetic field of the millimeter waveband by using conventional techniques in farming, moreover, amount of time required to do calculations would take years. Based on analysis of existing measurement methods a decision was made to calculate values of biotropic parameters of sunflower seeds under the influence of electromagnetic radiation information to use a method for measuring chemiluminescence based on resonator systems. In this paper, a theoretical analysis was made of the open resonator system. Its

parameters were calculated for measuring super-weak luminescence of sunflower seeds under the effect of low-energy (informational) electromagnetic field.

Keywords: sunflower seeds; frequency of the electromagnetic field; resonator is an open system; chemiluminescence of seeds.

Structures of defects in the electrical climatic factors change thermoexhibitings from violations materials and/ Prokhorenko E., Klepikov V., Lytvynenko V., Donets S., Morozova G., Korchynskiy A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P. 178-186. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

Methods of thermal control thermography done violations structure of materials and electrical defects . The degree of manifestation of the thermal anomaly disorders caused by structural inhomogeneities and external distorting factors . The dependence of changes in the thermal image on the strength of the air flow and direction . It is shown that the use of the parameters given excess temperature coefficient of defects , the gradient of the temperature field allows us to identify thermal anomaly when air flows significantly higher than standard . The method was tested on objects Zmievska TPP.

Keywords: defects thermal occurrence, changes in the structure of materials, thermography, IR-radiometry, coefficient of defectiveness.

Analysis of the liquid stream efflux out of the priller perforated case/ Skydanenko M., Sklabinskyi V., Kononenko N. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014. – № 26 (1069).- P.186-192. – Bibliogr.:6 . – ISSN 2079-5459

Stream jet breakup on drops regularity and the performed research prove that it is possible to design such granulator for fusion of nitrogen fertilizers which enables to get granules in a narrow fraction range, with the maximum number of particles which can be cooled off in the tower. One can control size of the drops depending on the temperature of cooling agent supplying into the tower. As a result, the heat load on the tower will be close to the optimal one, thus adhesion of the particles on the working surfaces of the tower is reduced, and as a result, it helps to reduce the cost of energy for processing substandard product and to reduce nitrogen fertilizers dust emissions into the atmosphere, so it will improve the environmental situation in the production area.

Keywords: forced agitations, vibro-granulator, jet disintegration, , experimental research, prilling tower.

ЗМІСТ

Васильєв А. В., Попов С. В., Пірнат А. М., Федік О. О. Дослідження особливостей модульно	3
	-розра
Бурдейна В. М. Забезпечення точності координованих розмірів з використанням операції керніння	8
Лебедев В. Г., Клименко Н. Н., Чумаченко Т. В. Рациональные температуры при шлифовании некоторых наплавленных и напыленных на рабочие поверхности деталей сталей, сплавов и химических соединений	16
Костик В. О., Костик К. О. Вивчення зміни коефіцієнту дифузії вуглецю залежно від температури хіміко-термічної обробки сталі 20Х	22
Москвина И. И. Особенности конструкции и принцип действия новогоэлектромагнитного клапана-отсекателя	30
Полковніченко Д. В., Москвіна І. І. Удосконалення системи обслуговування асинхронних двигунів	36
Гондляр А. В., Оноприенко В. Ю., Никитин Р. Е. Эволюция напряженно-деформированного состояния оборудования и защитных конструкций АЭС с учетом зон разрушения от влияния сейсмических нагрузок	45
Кубрак А. І., Жученко О. А. Передатні функції та частотні характеристики теплових об'єктів типу циліндричної стінки	53
Мурадян А. О. Оптимизация процесса перевалки грузов в общетранспортных узлах	64
Горбенко Ю. І., Бобух В. А., Пономар В. А. Обґрунтування вимог, розробка та дослідження скриптової мови безпечного управління в інформаційно-телекомунікаційних системах	73
Соловьева Е. И. Усовершенствование методов оценивания трудозатрат на создание IT-проекта	88
Филиппенко И. В. Система поддержки принятия решений при проектировании систем радиочастотной идентификации	97
Шеховцова В. І. Проблема вибору та критерії оцінки засобу автоматизованого проектування	101
Яковина В.С., Федасюк Д.В., Нитребич О.О. Аналіз використання інформаційних критеріїв у моделях оцінки надійності програмного забезпечення	108

Хімичева Г. І., Шеховцова Я. І. Удосконалення методики оцінки якості та безпеки туристичних послуг	116
Гамзаев Р. О., Ткачук Н. В., Мартинкус И. О. Мета-модель процесса трассировки требований при разработке программного обеспечения	121
Нефёдов Л. И., Петренко Ю. А., Кононыхин А. С. Модели выбора кадрового обеспечения офиса в условиях нечеткой информации	128
Калинина Е. Д., Корнилова О. В. Сравнительная характеристика технологий традиционных и гидролизированных сгущенных консервов с сахаром	135
Хижняк О. С. Изучение пребиотических свойств заменителя сахара лактитола в условиях <i>in vitro</i>	140
Сєноґонова Г. І., Притульська Н. В. Визначення цільового сегменту ринку споживачів харчових продуктів для людей з надлишковою масою тіла	148
Невлюдов И. Ш., Андрусевич А. А., Жарикова И. В., Резниченко А. Г. Синтез метода идентификации видеоизображения интерференционной полосы поверхности функциональных подложек электронной техники	153
Маркіна О. М., Маркін М. О. Алгоритми покращення зображень об'єктів в інфрачервоному діапазоні	161
Торчук М. В. Определение параметров электромагнитных видеоимпульсов для увеличения иммуноглобулинов в молозиве коров	168
Чёрная М. А., Кузмичёв И. К. Теоретический анализ резонаторной системы для измерения хемилюминесценции семян подсолнуха	172
Прохоренко Е. М., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В., Донец С. Е., Морозова Г. В., Корчинский А. О. Изменение термопроявлений дефектов материалов и электрооборудования в условиях воздействия климатических факторов	178
Скиданенко М. С., Склабинский В. І., Кононенко Н. П. Исследование процесса истечения струи жидкости из отверстия перфорированной оболочки приллера	186
Реферати	193

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Нові рішення в сучасних технологіях

№ 26(1069)

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор К. О. Костик

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)707-68-54, e-mail:
eklitus@yandex.ru

Обл.-вид. № 44-13

Підп. до друку «17» червня 2014р. 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
