

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

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 48(1090)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. - №48(1090) – 191 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. Грабчєнко, 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: Р. С. Томашевський, канд. техн. наук, доц.,

К. О. Костик, канд. техн. наук, доц.

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 № 9 від «31» жовтня 2014 р.

©Національний технічний університет „ХПІ”, 2014

УДК.62-529

Н. А. МИТЦЕЛЬ, аспирант, ассистент, НТУ «ХПИ»

ДАТЧИК КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

В статье предложено подробное техническое описание и принцип работы электронного датчика крутящего момента оригинальной конструкции, разработанного на кафедре "Автомобиле- и тракторостроения" НТУ "ХПИ" для испытательного стенда двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссии. Даны практические рекомендации по изготовлению, настройке и монтажу датчиков в зависимости от места их крепления, приведены полученные экспериментальные зависимости. Изд.: 8. Библиогр.: 10 назв.

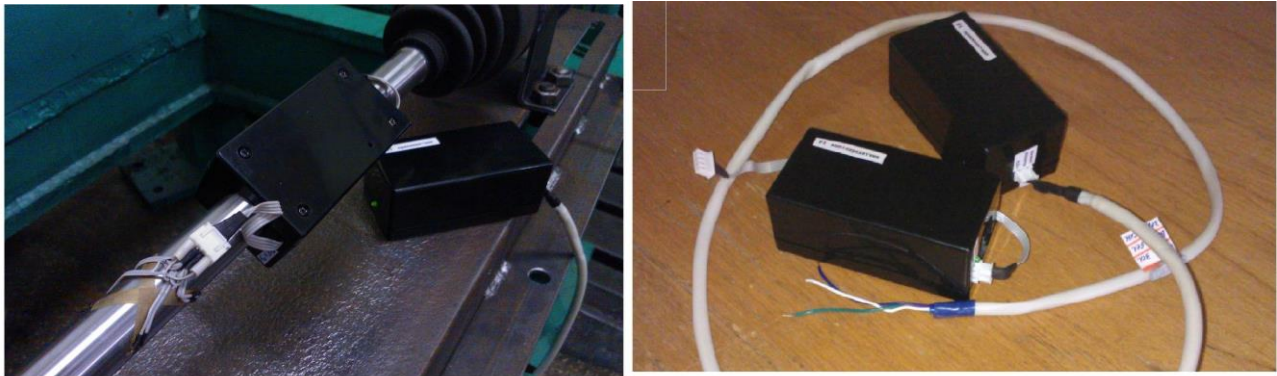
Ключевые слова: крутящий момент, тензомост, тензоусилитель, крутящий момент, аналогово-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, тарировка.

Введение. Использование чувствительных элементов (тензорезисторов) для измерения деформаций различных материалов широко известно и описано [7, 8]. На сегодняшний день промышленные датчики крутящего момента (ДКМ) представлены фирмами Magtrol, HBM, Datum Electronics и др [9]. Это современные высокоточные датчики, которые по желанию заказчика могут оснащаться цифровым либо аналоговым выходом, датчиком скорости. Характерным для всех датчиков является наличие нижней зоны нечувствительности, значение которой зависит от номинального диапазона измерений [1,2]. Белорусской компанией "Тилком" предлагаются, так называемые, телеметрические системы: на вал клеются тензорезисторы по мостовой либо полумостовой схеме, имеется блок питания, усиливающее, передающее и приемное устройство [10]. Данные системы лишены главного недостатка – токосъемников, но в тоже время требуются проведение тарировки вала перед установкой на исследуемый объект. Принцип работы датчиков крутящего момента может быть различным. Наиболее известны и описаны в научной литературе: оптические, механические, бесконтактные [4-6] и тензометрические [3] датчики крутящего момента.

Цель работы. Целью данной работы является ознакомление студентов, аспирантов, научных и инженерных работников с конструкцией устройства для измерения крутящего момента на вращающихся валах автомобилей и тракторов. Разработанный датчик состоит из общедоступных радиоэлементов, его сборка требует минимальных навыков в пайке, сложность которой будет зависеть лишь от размеров корпуса, в котором необходимо смонтировать датчик. Проведенные эксперименты подтвердили его надежность, высокую точность и быстродействие, что дает основание рекомендовать данную разработку.

Устройство и принцип работы датчика. Как уже было отмечено ранее, данный датчик был разработан специально для испытательного стенда двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссии (ГОМТ). В качестве соединительных элементов на нем были применены автомобильные полуоси с

шарнирами равных угловых скоростей. На рис. 1,а показан общий вид комплекта установленного на полуось, на рис. 1,б – отдельно.



а

б

Рис.1 – Внешний вид комплекта датчика крутящего момента: а – комплект установленный на полуось; б – отдельно.

Комплект состоит из двух блоков – передатчика 1 и приемника 2 (рис. 2) размещенных в пластиковых радиопрозрачных корпусах. Первый устанавливается на валу возле тензомоста, второй – на расстоянии до 10 метров от первого в зоне уверенного радиоприема, о чем свидетельствует равномерный немигающий свет светодиода-индикатора 3 на втором блоке. Второй блок подключен к контактной колодке модуля АЦП E14-140MD кабелем длиной до 20 метров.

Первый блок предназначен для:

- 1) усиления сигнала тензомоста (схема тензоусилителя приведена на рис.3);
- 2) усиления сигнала по току для согласования со входом АЦП микроконтроллера M430G25553 (плата усилителя тензомоста, АЦП и передатчика представлена на рис.4) ;
- 3) аналого-цифрового преобразования в микроконтроллере M430G25553;
- 4) формирования микроконтроллером M430G25553 посылок, содержащих данные о метках времени и соответствующих им двоичных кодах из АЦП и выдачи их по интерфейсу SPI на передатчик ANAREN CC110L;
- 5) передачи посылок по радиоканалу передатчиком ANAREN CC110L;
- 6) автономного питания от аккумулятора емкостью 1050 мАh.

Автономное зарядное устройство позволяет заряжать аккумулятор от 5-ти вольтового источника питания, подключившись к разъему USB или к контактной колодке модуля АЦП (схема зарядного устройства приведена на рис.5).

Питание блока 1 (передатчика) автономное от литий-ионного аккумулятора 3.7 вольт емкостью 1050 мАh. Потребляемый блоком ток 40 миллиампер при подключенном тензомосте. Аккумулятор и зарядное устройство (микросхема STC4054) находятся на отдельной плате блока, зарядка производится подключением посредством универсального кабеля к порту USB, ток заряда 330 миллиампер определяется резистором в схеме зарядного устройства.

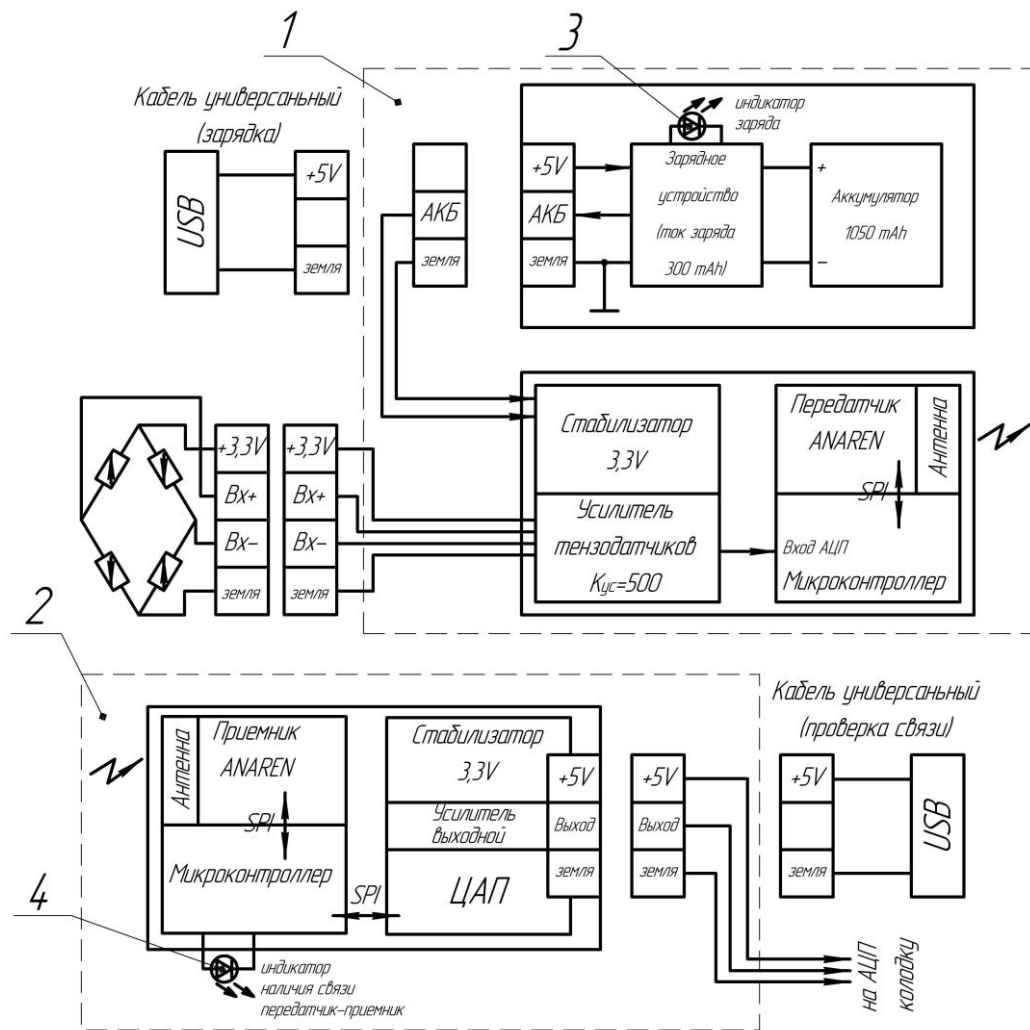


Рис. 2 – Блок-схема комплекта датчика крутящего момента

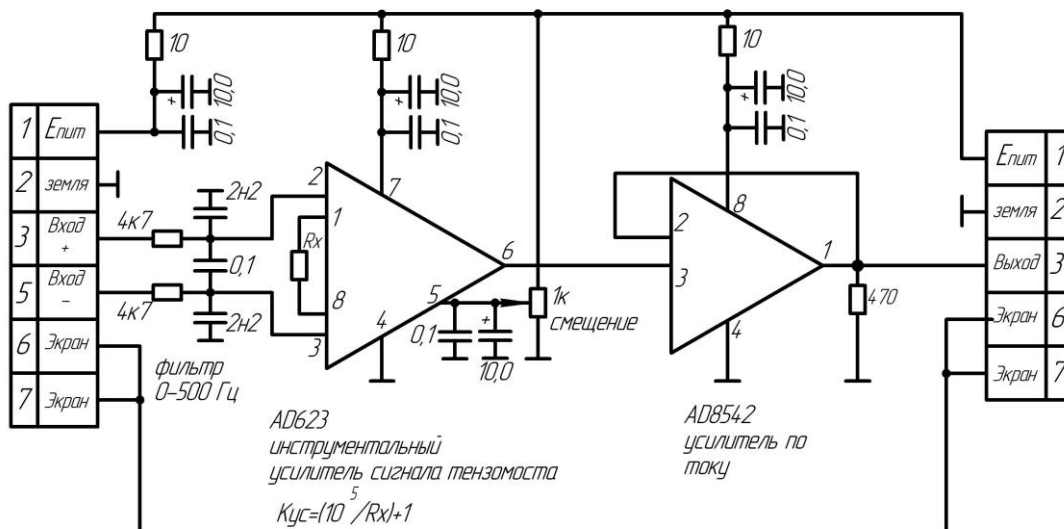


Рис. 3 – Усилитель сигнала тензомоста

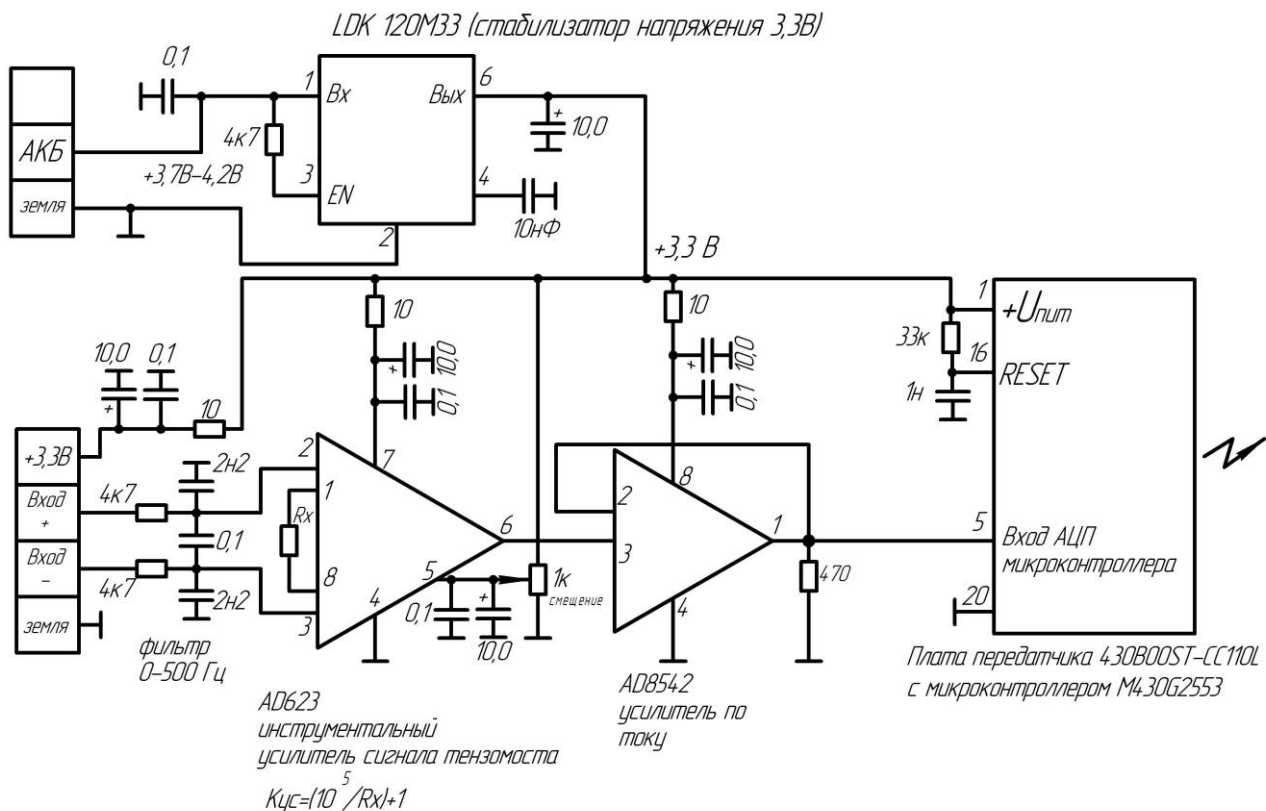


Рис. 4 – Схема платы усилителя тензомоста, АЦП и передатчика

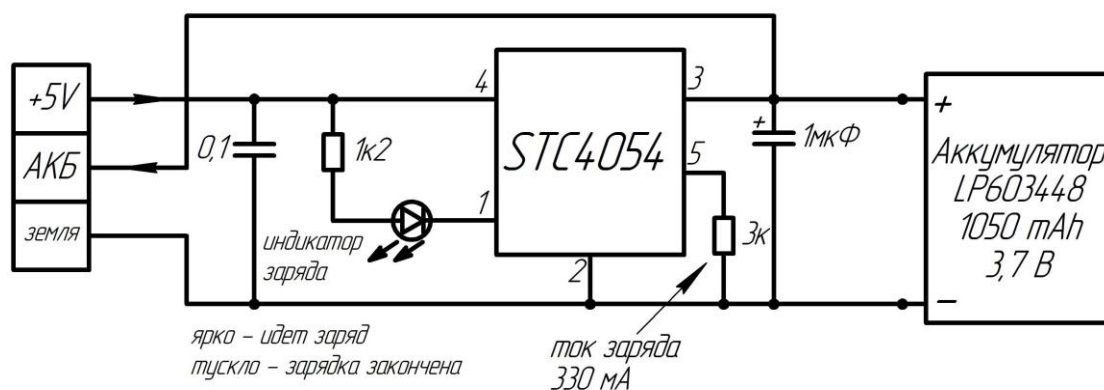


Рис. 5 – Плата зарядного устройства и аккумулятора

В заряженном состоянии аккумулятор выдает напряжение +4.2 вольт, по мере разряда напряжение будет плавно уменьшаться до +3.7 вольт – это минимальное рабочее напряжение для стабилизатора на микросхеме LDK120M33. Напряжение питания подается далее через RC-фильтры на тензомост, усилитель сигнала тензомоста, усилитель тока, микроконтроллер M430G25553 и передатчик ANAREN CC110L. Сигнал с тензомоста поступает на два дифференциальных входа инструментального усилителя AD623 через фильтр низких частот 0-500 Гц. Коэффициент усиления сигнала тензомоста определяется резистором подключенным к ножкам 1 и 8 усилителя AD623 и может быть установлен в пределах 1 – 1000. В нашем случае коэффициент усиления установлен на значении 370. Также в усилителе AD623 есть возможность использовать

В соответствии с программой, записанной в память микроконтроллера M430G2553 периодически по интерфейсу SPI считывает из ресивера ANAREN CC110L принятые по радиоканалу посылки цифровых данных, содержащие метки времени и соответствующие им двоичные коды из АЦП. При обработке полученных посылок микроконтроллером M430G2553 формируется поток данных со скоростью 2000 10-тиразрядных выборок в секунду и выдача в реальном времени двоичных кодов на ЦАП AD5641 по SPI интерфейсу. Цифроаналоговый преобразователь AD5641 выдает аналоговый сигнал размахом от 0 до +3 вольт, далее аналоговый сигнал поступает на усилитель тока.

Особое внимание необходимо уделить подбору источника питания блока-приемника, импульсные блоки питания, например, ATX 400W и его аналоги, имеющие выход +5 В будут увеличивать амплитуду выходного сигнала до 40 мВ. Для высокоточных измерений рекомендуется применять аккумуляторные источники питания. На рис. 7 приведен полученный экспериментальный график крутящего момента на валу асинхронного электродвигателя (33 кВт, 1450 об/мин), записанный с помощью предлагаемого датчика. Асинхронный привод использовался в качестве первичного источника вращения в составе экспериментального стенда ГОМТ. На графике отчетливо виден начальный пусковой момент, что подтверждает высокое быстродействие датчика, а также минимальный гистерезис.

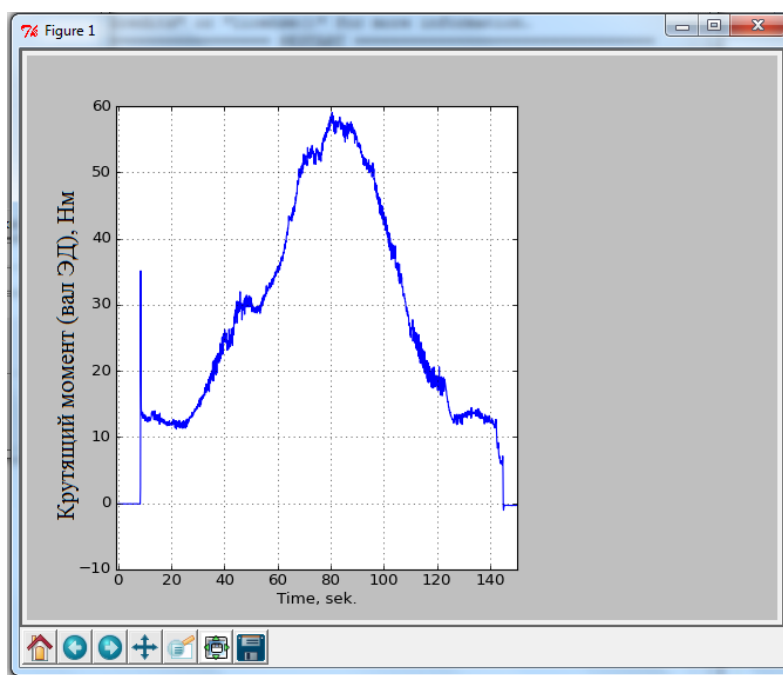


Рис. 8 – График крутящего момента на валу электродвигателя

Выводы. Предложенное устройство имеет ряд очевидных преимуществ, в первую очередь в силу простоты своей конструкции, низкой стоимости и высоким эксплуатационным характеристикам, что было экспериментально подтверждено. Блок передатчика может быть легко адаптирован под валы различной толщины, а способ закрепления должен гарантировать безопасную эксплуатацию, особенно для вращающихся валов. Ресивер ANAREN CC110L

позволяет устанавливать до 28 различных частот для каналов передачи информации, это позволяет бесперебойно работать нескольким датчикам вблизи друг от друга. Автором статьи для проведения экспериментального исследования было изготовлено два комплекта датчиков. Поломок за все время испытаний выявлено не было.

Список литературы: 1. *Ranganath, R.* A force–torque sensor based on a Stewart Platform in a near-singular configuration / *R. Ranganath* // Mechanism and Machine Theory. – 2004. – №39. – Iss. 9. – P. 971–998. 2. *Whitehead, N.* Torque sensor employing a mechanical resonator / *N. Whitehead* // Sensors and Actuators A: Physical. – 1997. – № 60. – P. 29–31. 3. *Sultan, C.* A force and torque tensegrity sensor / *C. Sultan, E. Skelton* // Sensors and Actuators A: Physical. – 2004. – № 112. – P. 220–231. 4. *Hazelden, R. J.* Optical torque sensor for automotive steering systems / *R. J. Hazelden* // Mechanism and Machine Theory. – 1993. – № 18. – P. 193–197. 5. *Lemarquand, V.* New structure of magnetic torque sensor / *V. Lemarquand, G. Lemarquand* // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1992. – № 104. – P. 1109–1110. 6. *Zabler, E.* A non-contact strain-gage torque sensor for automotive servo-driven steering systems / *E. Zabler, A. Dukart* // Sensors and Actuators A: Physical. – 1994. – № 41. – P. 39–46. 7. Немец И. Практическое применение тензорезисторов / И. Немец – М.: Энергия, 1970. – 144 с. 8. Тесленко А. А. Что следует знать о тензорезисторах / А. А. Тесленко // Информационно-технический журнал ПиКАД. – 2006. – №1. – С. 42 – 53. 9. Режим доступа <http://multimera.deal.by/> 10. Режим доступа <http://www.tilkom.com/>

Bibliography (transliterated): 1. *Ranganath, R.* (2004). A force–torque sensor based on a Stewart Platform in a near-singular configuration. Mechanism and Machine Theory, 39, 9, 971–998. 2. *Whitehead, N.* (1997). Torque sensor employing a mechanical resonator. Sensors and Actuators A: Physical, 60, 29–31. 3. *Sultan, C., Skelton, E.* (2004). A force and torque tensegrity. Sensors and Actuators A: Physical, 112, 220–231. 4. *Hazelden, R. J.* (1993). Optical torque sensor for automotive steering systems. Mechanism and Machine Theory, 18, 193–197. 5. *Lemarquand, V., Lemarquand, G.* (1992). New structure of magnetic torque sensor. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 104, 1109–1110. 6. *Zabler, E., Dukart, A.* (1994). A non-contact strain-gage torque sensor for automotive servo-driven steering systems, Sensors and Actuators A: Physical, 41, 39–46. 7. Nemes, I. (1970). Practical application of strain gages. Moscow: Energy, 144. 8. Teslenko, A. (2006). What you should know about strain gages. Information Technology Journal PiCAD, 1, 42–53. 9. The access mode <http://multimera.deal.by/> 10. The access mode <http://www.tilkom.com/>

Надійшла (received) 08.10.2014

УДК 620.191.33

А. М. СИРОТЮК, канд. техн. наук, ст. наук. співр., Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів;

Р. А. БАРНА, канд. техн. наук, наук. співр., Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів;

Р. Л. ЛЕЩАК, канд. техн. наук, наук. співр., Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів;

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВОДНЮ В МЕТАЛІ НА ТРИЩИНІСТІЙКІСТЬ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕС

Розглянуто випадок наявності техногенних органічних домішок у теплоносії парогенеруючих систем енергоблоків, що є потенційним джерелом наводнювання металу живильних трубопроводів.

© А. М. СИРОТЮК, Р. А. БАРНА, Р. Л. ЛЕЩАК 2014

Показано, що прискорений розвиток тріщиноподібних дефектів в металі трубопроводу із зростанням концентрації органічних домішок у робочому середовищі спричинений зростанням ступеня наводнюваності металу. Визначено розподіл локальної концентрації водню біля вершини корозійно-втомної тріщини. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю росту тріщини та локальною концентрацією водню біля її вершини. Іл.: 12. Бібліогр.: 13. назв.

Ключові слова: трубопровідна сталь; водні робочі середовища; органічні домішки; циклічне навантаження; корозійно-втомні тріщини; коефіцієнт інтенсивності напружень; швидкість росту тріщини; локальна концентрація водню.

Вступ. Більшість енергетичних блоків закритичного тиску ТЕС України відпрацювали розрахунковий ресурс і вимушені експлуатуватися в складних умовах, що пов'язані з нестабільним графіком електричних навантажень, збільшенням тривалості простоїв блоків, використанням непроектного палива, застосуванням вихідної води з поверхневих джерел, забруднених викидами промислових підприємств, а також гострого дефіциту труб, металу, іонообмінних матеріалів тощо. У цих умовах забезпечення необхідного рівня надійності і продовження ресурсу роботи основного теплоенергетичного обладнання вимагає посиленої уваги до ряду загострених проблем. Найважливішою з них є корозійні та корозійно-механічні пошкодження металу різних елементів пароводяного тракту блоків ЗКТ, спричинені робочим середовищем.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Актуальність та практична важливість даної роботи пов'язана з існуючою проблемою наявності техногенних органічних домішок у теплоносії парогенеруючих систем енергоблоків ТЕС [1, 5]. У живильних контурах енергоблоків циркулюють природні води, попередньо ретельно очищені з метою запобігання корозії шляхом підвищення омичної складової електрохімічного процесу та усунення домішок, що містять іоногени. Однак, у робочому середовищі залишається ряд органічних речовин, які є продуктами екологічного забруднення [1, 3, 5, 13]. У результаті забруднення експлуатаційного середовища утворюються корозійні та корозійно-механічні пошкодження на внутрішніх поверхнях обладнання. Досвід експлуатації електростанцій [1–3, 5, 13] свідчить, що такі пошкодження можуть становити значний відсоток від загальної кількості (близько 40 %) і спричинити появу тріщиноподібних дефектів, подальший розвиток яких призводить до руйнування конструкцій в цілому, або їх окремих елементів [12].

Мета роботи. Встановити взаємозв'язок між швидкістю росту втомної тріщини та локальною концентрацією водню біля її вершини.

Постановка проблеми. Досягнення поставленої мети вимагало вирішення наступних задач:

- дослідити вплив локальної концентрації водню в металі трубопроводів ТЕС на їх тріщиноутворення;
- визначити розподіл локальної концентрації водню у металі біля вершини корозійно-втомної тріщини, що розвивається, а також концентрації органічних домішок у робочому середовищі;
- встановити взаємозв'язок між локальною концентрацією водню у металі та ступенем забрудненості робочого середовища органічними домішками;

Об'єктом дослідження було руйнування трубопровідних сталей, що

реалізується шляхом зародження та подальшого розвитку тріщиноподібних дефектів від концентраторів напружень за дії корозивних середовищ з органічними домішками.

Предмет дослідження: локальна концентрація водню у металі трубопроводів ТЕС в умовах забруднення робочого середовища органічними домішками.

Методика експериментів. Досліджували метал живильного трубопроводу з ТЕС «Л» (труба 526 × 50 мм), який експлуатувався впродовж 145 тис. год.

Робочим середовищем для досліджень був теплоносій – вода високого ступеня очистки, згідно з нормами технічної експлуатації електростанцій (рН $7 \pm 0,5$; провідність 3 мСм/м). Використано також розчини, що містили домішки органічних сполук різного складу та концентрації.

Методологічною основою роботи є одночасне врахування механічних та електрохімічних чинників, що визначають процес руйнування трубопровідних сталей за дії корозивних та воденьвмісних середовищ:

- методами механіки руйнування визначались кінетичні діаграми росту тріщиноподібних дефектів залежно від умов випробувань досліджуваних сталей;
- методами мас-спектрального аналізу з лазерним мікрозондом вимірювали локальну концентрацію водню в околі вершини втомної тріщини.

Обговорення результатів

Визначення циклічної корозійної тріщиностійкості тривало експлуатованого металу живильних трубопроводів енергоблоків ТЕС за різної концентрації техногенних органічних домішок у теплоносії

Експерименти проведено на балкових зразках прямокутного поперечного перерізу (10 × 20 мм) з початковою крайовою тріщиною однакової довжини $a_0 \approx 4$ мм та за однакового початкового рівня навантаження, що характеризувався значенням розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) ΔK_0 (табл. 1). Температура середовища становила 25 °С, коефіцієнт асиметрії циклу навантаження – $R = 0$ за частоти $f = 1$ Гц.

Таблиця 1 – Умови випробування на циклічну корозійну тріщиностійкість балкових зразків із експлуатованого металу живильних трубопроводів за чистого згину

Середовище	f , Гц	R	a_0 , мм	ΔK_0 , МПа · $\sqrt{м}$
Номінальне (H_2O)	1,0	0	3,95	11,58
Номінальне + C_{HCOOH} (3 мг/кг)	1,0	0	3,90	11,59
Номінальне + C_{HCOOH} (5 мг/кг)	1,0	0	4,06	10,92
Номінальне + C_{HCOOH} (10 мг/кг)	1,0	0	4,03	13,73
Номінальне + C_{HCOOH} (100 мг/кг)	1,0	0	4,05	13,71

Одержані залежності швидкості росту корозійно-втомної тріщини da/dN в експлуатованому металі живильних трубопроводів від її довжини a (рис. 1) свідчать про відчутний вплив концентрації органічних домішок у теплоносії на прискорення росту тріщиноподібних дефектів.

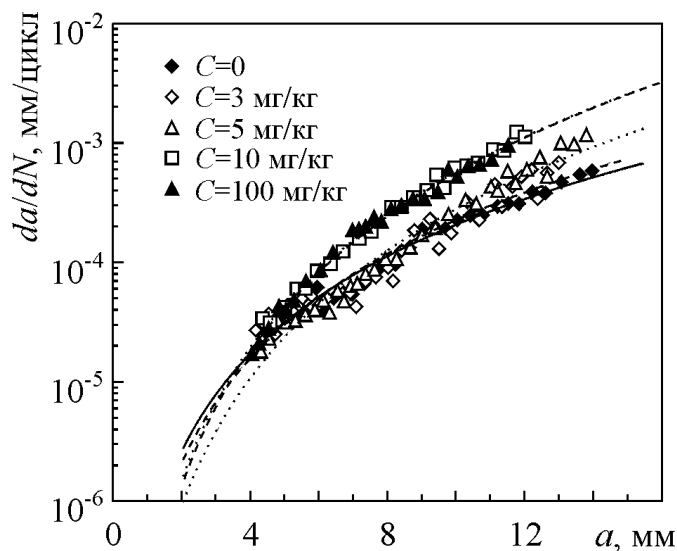


Рис. 1 – Залежність швидкості росту корозійно-втомної тріщини в експлуатованому металі живильних трубопроводів від її довжини за різної концентрації техногенних органічних домішок у робочому середовищі

На основі одержаних експериментальних даних було визначено наступні базові параметри циклічної корозійної тріщиностійкості експлуатованого металу живильних трубопроводів (табл. 2):

1. Константи n та C степеневі залежності Паріса [10, 11] $da/dN = C \cdot (\Delta K)^n$, що описує середньоамплітудну ділянку діаграми циклічної тріщиностійкості матеріалу.

Таблиця 2 – Параметри циклічної корозійної тріщиностійкості експлуатованого металу живильних трубопроводів за різної концентрації техногенних органічних домішок у робочому середовищі

Середовище	n	C	$\Delta K_{th}, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$	$\Delta K_{fc}, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$
			$\frac{da}{dN} = 10^{-5} \frac{\text{мм}}{\text{цикл}}$	$\frac{da}{dN} = 10^{-3} \frac{\text{мм}}{\text{цикл}}$
Номінальне (H_2O)	4,25	$4,00 \times 10^{-10}$	10,80	31,88
Номінальне + C_{HCOOH} (3 мг/кг)	4,56	$1,83 \times 10^{-10}$	10,90	29,88
Номінальне + C_{HCOOH} (5 мг/кг)	5,56	$9,49 \times 10^{-12}$	12,13	27,78
Номінальне + C_{HCOOH} (10 мг/кг)	5,78	$8,41 \times 10^{-12}$	11,25	24,95
Номінальне + C_{HCOOH} (100 мг/кг)	5,83	$7,82 \times 10^{-12}$	11,07	24,34

2. Порогове значення КІН ΔK_{th} , нижче якого не відбувається розвитку корозійно-втомної тріщини [5, 6, 9].

3. Критичне значення КІН ΔK_{fc} , тобто циклічну в'язкість руйнування [5, 6, 9].

Аналіз одержаних результатів свідчить про наступне (рис. 2). В цілому, присутність техногенних органічних домішок змінює характеристики циклічної корозійної тріщиностійкості експлуатованого металу живильних трубопроводів, порівняно з випробуваннями в робочому середовищі номінального складу. Найбільш помітні зміни відбуваються в діапазоні $0 \leq \text{C}_{\text{HCOOH}} \leq 10 \text{ мг/кг}$. При

цьому, зростає крутизна діаграм, що відображається зростанням значення параметра n степеневі залежності Паріса (див. рис. 3), а також помітно знижується циклічна в'язкість руйнування ΔK_{fc} за незмінного рівня порогового значення КІН ΔK_{th} . Подальше збільшення концентрації органічних домішок, тобто при $C_{HCOOH} \geq 10$ мг/кг, практично не спричиняє впливу на характеристики циклічної корозійної тріщиностійкості досліджуваного металу.

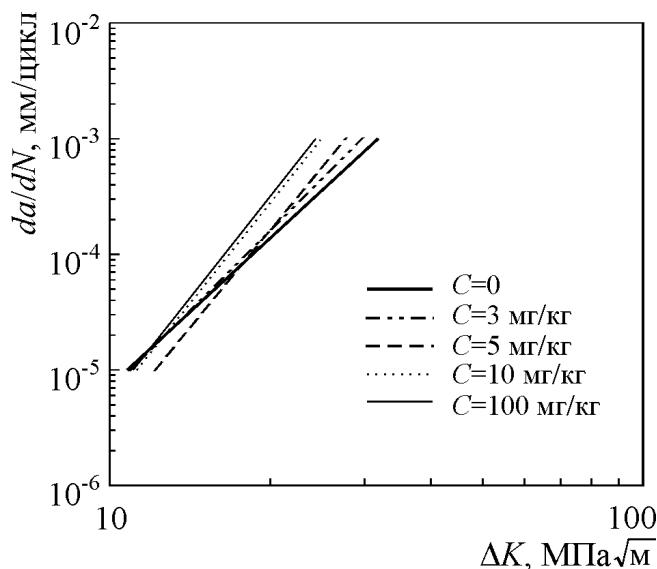


Рис. 2 – Діаграми циклічної корозійної тріщиностійкості експлуатованого металу живильних трубопроводів за різної концентрації техногенних органічних домішок у робочому середовищі

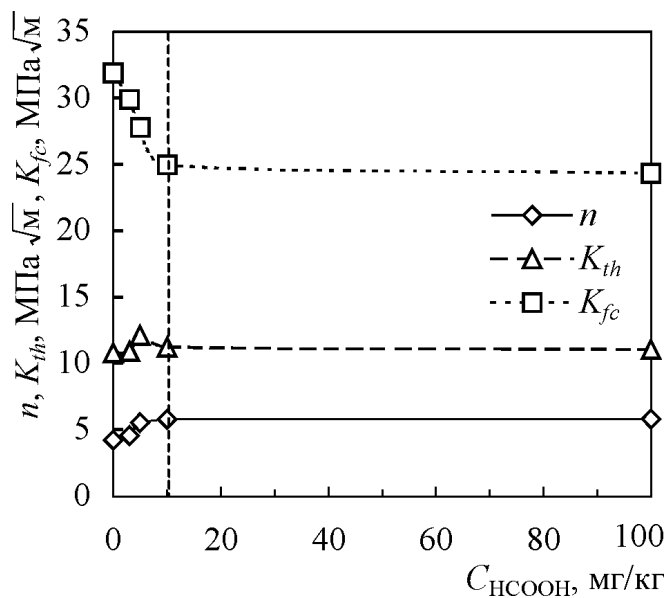


Рис. 3 – Залежність параметрів циклічної корозійної тріщиностійкості експлуатованого металу живильних трубопроводів від концентрації техногенних органічних домішок у робочому середовищі

Таким чином, концентрація техногенних органічних домішок у робочому середовищі в межах $C_{HCOOH} = 3...10$ мг/кг спричиняє найвідчутніше зниження

характеристик циклічної тріщиностійкості експлуатованого металу живильних трубопроводів. Цей факт повинен враховуватись при експертних оцінках роботоздатності та ризику руйнування експлуатованих живильних трубопроводів із тріщиноподібними дефектами.

Визначення локальної концентрації водню біля вершини корозійно-втомної тріщини у металі трубопроводу за наявності органічних домішок у теплоносії

Для таких досліджень був застосований оригінальний метод локальної мас-спектрометрії з лазерним мікрозондом [1, 4]. Цей метод аналізу полягає в локальному розплавленні за допомогою гостро сфокусованого променя твердотілого лазера обмеженої за розміром ділянки поверхні металу зразка (зазвичай це $0 = 0$, КОД 5 мм), який розташовано у вакуумній камері з $P < 10^{-7}$ тор. Гази та газоутворюючі елементи, які розчинені або сорбовані в металі, після локального розплавлення твердого тіла екстрагуються з металевого розплаву в вакуум. У гомогенному металі розміри мікророзплаву відтворюються з похибкою $< 0,5 \%$. У гетерогенних матеріалах на розмір розплаву певний вплив має структура та фазовий склад металу, тому в цих випадках проводиться нормування. Параметри джерела нагріву вибираються такими, щоб метал плавився, а не випаровувався. Джерело нагріву – лазер знаходиться ззовні, його промінь проходить до зразка через вакуумнощільне оптично прозоре скло. Об'єм камери аналізу 50 см^3 . У вакуумній камері знаходиться давач мас-спектрометру, який реєструє зміну парціального тиску даного газу. Якщо проградуювати ці показники та знати точно об'єм мікророзплаву, то можна здійснювати кількісний аналіз [4] локальної концентрації водню та інших газів у гетерогенних металевих матеріалах, якими є сталі теплоенергетичного призначення.

У роботі використана установка ЭХО-4М, яка використовує лазер на ніодимовому склі, що працює в режимі хаотичної генерації, та мас-спектрометр. Об'єм мікророзплаву складає $(1,6...3,2) \cdot 10^{-19} \text{ м}^3$. Екстраговані з мікророзплаву металу до вакуумної камери аналізу газу та газоутворюючі елементи реєструються давачем квадрупольного мас-спектрометру. Решта металу зразка залишається холодною, оскільки тривалість імпульсного опромінення складає кілька наносекунд, ширина зони термічного впливу надзвичайно мала ($< 1 \%$ площі опромінення), можлива термодесорбція металу цієї ділянки незначна й складає менше ніж $0,5 \%$ від загальної кількості. Локальність вимірювань ($100...150 \text{ мкм}$) обмежена пороговою чутливістю мас-спектрометру до наявності даного газу та величиною того мікрооб'єму, який виділяється з металу під час аналізу. Чутливість приладу ЭХО-4М по водню складає $10^{-7} \%$ ($\sim 10^{-3} \text{ ppm}$), а по кисню – $10^{-6} \%$ при загальній сумарній похибці $\sim 8 \%$, відтворюваність результатів практично повна.

Для проведення локальних вимірювань концентрації водню в металі були підготовлені спеціальні зразки (рис. 4а), які вирізались з балкових зразків після їх корозійно-втомних випробувань [5, 8]. Схему сканування поверхні лазерним мікрозондом наведено на рис. 4б.

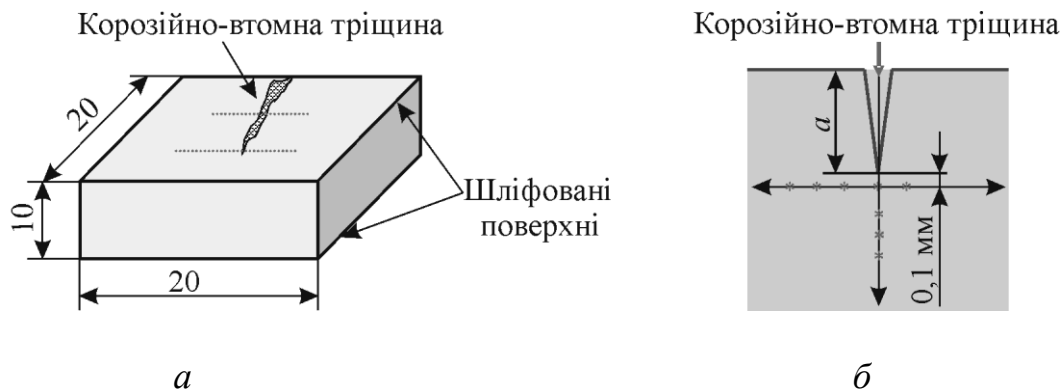


Рис. 4 – Зразок для визначення локальної концентрації водню: *а* – в околі корозійно-втомної тріщини; *б* – напрям сканування поверхні лазерним мікрозондом

Попередніми дослідженнями [1, 5, 7, 8] було показано принципову можливість реалізації механізму водневого окрихнення металу в околі тріщиноподібних дефектів у живильних трубопроводах за присутності в теплоносії органічних домішок.

Нижче наведені результати більш детальних досліджень зміни цього параметра за розвитку корозійно-втомної тріщини в металі. При досягненні тріщиною певної довжини *a*, корозійно-втомні випробування зупинялись і проводилось визначення локальної концентрації водню в околі її вершини. При цьому сканування проводилось починаючи з віддалі 0,1 мм від вершини тріщини, як в напрямку її поширення так і в напрямку перпендикулярному до поширення тріщини (рис. 4б).

Результати вимірювань показали, що для обох напрямків сканування значення концентрації водню в металі різко знижується з віддаленням від вершини тріщини (рис. 5–7) до деякої певної величини, що відповідає значенню концентрації водню в об'ємі металу за даних умов випробувань. Слід також зазначити, що локальна концентрація водню біля вершини тріщини є значно вищою за випробувань у середовищі з органічними домішками (рис. 6), порівняно з аналогічними випробуваннями в середовищі номінального складу (рис. 7).

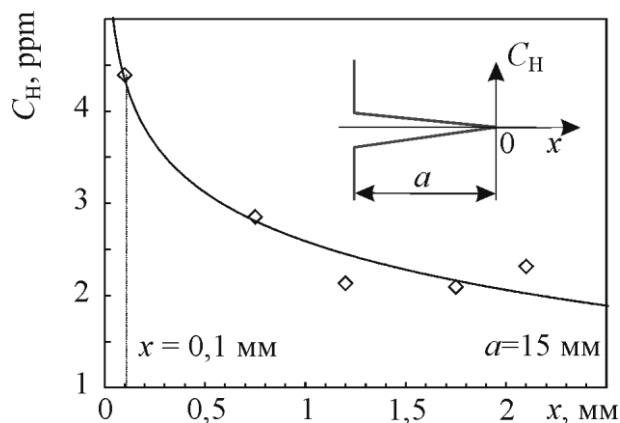


Рис. 5 – Зміна локальної концентрації водню біля вершини втомної тріщини довжиною $a = 15$ мм в сталі 16ГС у середовищі номінального складу (сканування в напрямку поширення тріщини починаючи з віддалі 0,1 мм від її вершини)

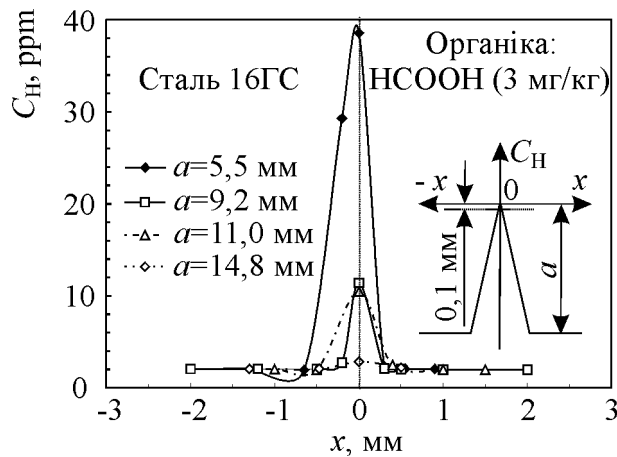


Рис. 6 – Зміна локальної концентрації водню біля вершини втомної тріщини різної довжини a в сталі 16ГС у середовищі з органічними домішками (сканування в напрямку перпендикулярному до поширення тріщини на віддалі 0,1 мм від її вершини)

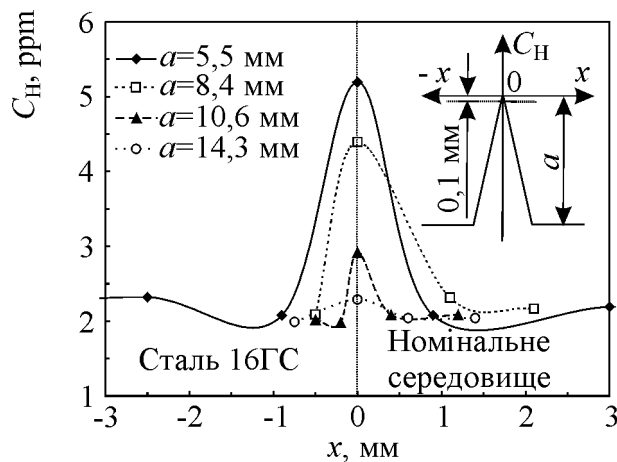


Рис. 7 – Зміна локальної концентрації водню біля вершини втомної тріщини різної довжини a в сталі 16ГС в середовищі номінального складу (сканування в напрямку перпендикулярному до поширення тріщини на віддалі 0,1 мм від її вершини)

Слід зазначити наступну важливу тенденцію – зі зростанням довжини тріщини, локальна концентрація водню в її вершині знижується, як за випробувань у середовищі з органічними домішками, так і за випробувань у середовищі номінального складу (рис. 8). Це пов'язано з відомими кінетичними особливостями розвитку втомної тріщини [5, 7, 8], що визначають умови локального наводнювання металу в околі її вершини. В даних умовах випробувань зі зростанням довжини тріщини зростала і швидкість її поширення, що призводить до зменшення часу наводнювання металу в околі зони передруйнування матеріалу.

У подальшому одержані чисельні дані про локальну концентрацію водню C_H біля вершини тріщини різної довжини було використано для встановлення взаємозв'язку цього параметру зі швидкістю росту втомної тріщини в металі трубопроводу da / dN та розмахом КІН ΔK за випробувань у середовищі номінального складу та з органічними домішками.

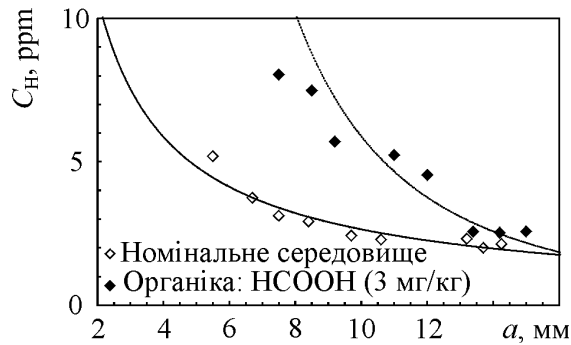


Рис. 8 – Залежність локальної концентрації водню біля вершини втомної тріщини (на віддалі 0,1 мм від її вершини) від її довжини в сталі 16ГС за випробувань у середовищі номінального складу та з органічними домішками

Встановлення взаємозв'язку між швидкістю росту втомної тріщини у металі трубопроводу та локальною концентрацією водню біля її вершини

Для оцінки ризику руйнування та виникнення аварійних ситуацій у парогенеруючих системах енергоблоків закритичного тиску ТЕС за присутності техногенних органічних домішок у теплоносії принципово важливим є встановлення механізму експлуатаційних пошкоджень металу.

Одержані при виконанні проекту результати вказують на принципову можливість реалізації механізму водневого окрихчення металу в околі тріщиноподібних дефектів у трубопроводах за присутності у теплоносії органічних домішок. Оскільки експериментально встановлено, що з однієї сторони присутність органічних домішок в робочому середовищі знижує опірність матеріалу до поширення корозійної тріщини, а з другої сторони, локальна концентрація водню біля вершини тріщини є значно вищою при випробуваннях в середовищі з органічними домішками.

На цій підставі був встановлений взаємозв'язок між швидкістю росту втомної тріщини в металі трубопроводу та локальною концентрацією водню біля її вершини. Це було зроблено на основі аналізу та обробки наступних груп експериментальних даних:

- залежностей між швидкістю росту втомної тріщини da/dN та розмахом КІН ΔK в її вершині (рис. 9);
- залежностей між локальною концентрацією водню біля вершини втомної тріщини C_H та розмахом КІН ΔK (рис. 10);

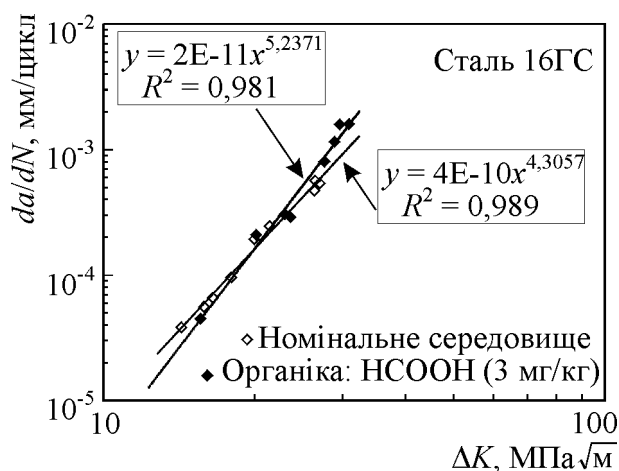


Рис. 9 – Залежність між швидкістю росту втомної тріщини в металі трубопроводу da/dN та розмахом КІН ΔK за випробувань у середовищі номінального складу та з органічними домішками.

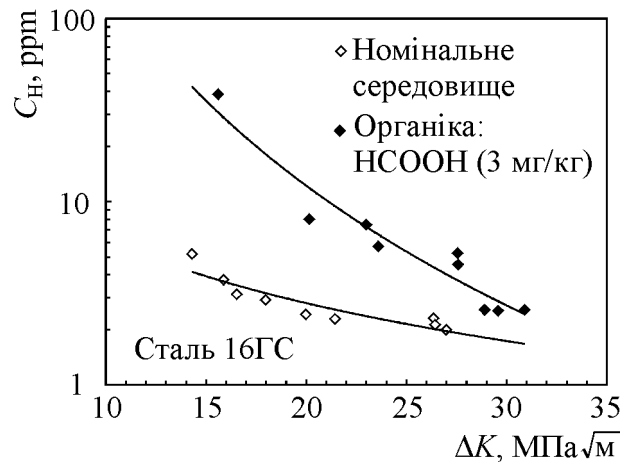


Рис. 10 – Залежність між локальною концентрацією водню біля вершини втомної тріщини C_H та розмахом КІН ΔK та за випробувань у середовищі номінального складу та з органічними домішками.

– залежностей між локальною концентрацією водню біля вершини втомної тріщини C_H та швидкістю її росту в металі трубопроводу da/dN (рис. 11).

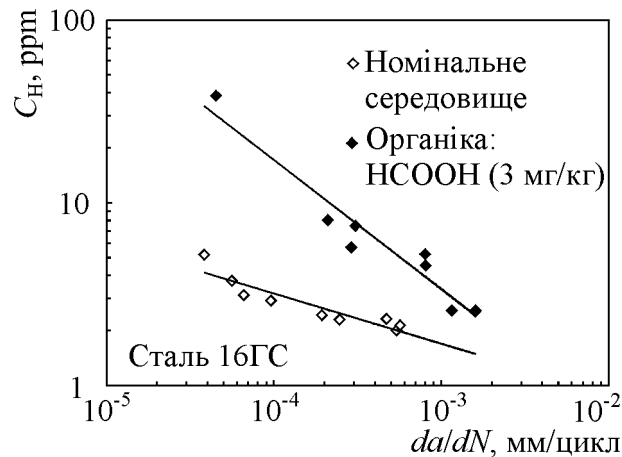


Рис. 11 – Залежність між локальною концентрацією водню біля вершини втомної тріщини C_H та швидкістю її росту в металі трубопроводу da/dN за випробувань у середовищі номінального складу та з органічними домішками

Підсумком цього є узагальнені діаграми, що пов'язують між собою, у подвійній логарифмічній системі координат, параметри $(da/dN)/C_H$ та ΔK (рис. 12). Такі діаграми вказують на існування лінійної залежності між розглядуваними параметрами. При цьому середньоквадратичне відхилення R^2 експериментальних даних від аналітичних кривих становить більше ніж 0,98.

На цій підставі взаємозв'язок між швидкістю росту втомної тріщини da/dN однієї сторони та локальною концентрацією водню C_H^t і розмахом КІН ΔK у вершині тріщини, з другої сторони, може бути представлений у вигляді наступної степеневі залежності:

$$da/dN = A \cdot (C_H^t / C_H^0) \cdot (\Delta K)^m.$$

де m та A – константи системи „матеріал–середовище” і умов випробувань;
 C_H^0 – концентрація водню в об'ємі металу.

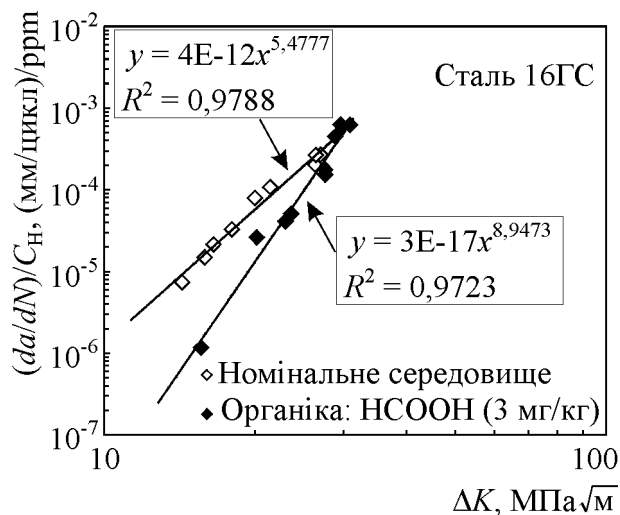


Рис. 12 – Взаємозв’язок між швидкістю росту втомної тріщини в металі трубопроводу da/dN , розмахом КІН ΔK та локальною концентрацією водню біля вершини тріщини C_N за випробувань у середовищі номінального складу та з органічними домішками.

Експериментально встановлено взаємозв’язок між швидкістю росту втомної тріщини та локальною концентрацією водню біля її вершини. Показано, що кожному значенню швидкості росту втомної тріщини відповідає своя критична комбінація локальної концентрації водню біля вершини тріщини та КІН, тобто da/dN пропорційна параметру $\left[C_N^t \cdot (\Delta K)^m \right]$.

Висновки. Визначено розподіл локальної концентрації водню у металі біля вершини корозійно-втомної тріщини, що розвивається, а також концентрації органічних домішок у робочому середовищі. Показано взаємозв’язок між цими параметрами, а саме, зростання локального наводнення металу зі зростанням ступеня забрудненості робочого середовища органічними домішками.

Встановлено взаємозв’язок між швидкістю росту втомної тріщини та локальною концентрацією водню біля її вершини. Показано, що кожному значенню швидкості росту втомної тріщини відповідає своя критична комбінація локальної концентрації водню та КІН.

Результати дослідження можуть бути використані для визначення допустимих розмірів тріщиноподібних дефектів у стінках живильних трубопроводів ТЕС залежно від їх форми та концентрації органічних домішок у робочому середовищі $C_{\text{НСООН}}$.

Список літератури: 1. Вайнман, А. Б. Водородное охрупчивание элементов котлов высокого давления [Текст] / А. Б. Вайнман, Р. П. Мелехов, О. Д. Смиян. – К.: Наукова думка, 1990. – 222 с. 2. Гладышев, Г. П. Влияние маневренных режимов на показатели качества воды и пара энергоблоков СКД [Текст] / Г. П. Гладышев, О. И. Мартынова, В. Е. Денисов // Электрические станции. – 1989. – № 3. – С. 15–18. 3. Графова, И. А. Глубокая очистка ионитов, используемых в процессах водоподготовки [Текст] / И. А. Графова, Л. А. Мельник, В. Д. Гребешок [и др.] // Химия и технология воды. – 1992. – № 3. – С. 185–199. 4. Лакомский, В. И. Некоторые особенности проведения локального масс-спектрального анализа методом содержания газовых примесей [Текст] / В. И. Лакомский, О. Д. Смиян // Методы определения газов в металлах и сплавах: науч.-техн. конф., 1971 г. – М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1971. – С. 115–124. 5. Механіка руйнування та міцність матеріалів [Текст]: довідн. посіб. / За заг. ред.

В. В. Панасюка. Т. 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / *I. М. Дмитрах, А. Б. Вайнман, М. Г. Стащук [та ін.]*: [за ред. І. М. Дмитраха]. – К.: ВД „Академперіодика”, 2005. – 378 с. **6.** *Dmytrakh, I. M.* Corrosion fatigue cracking and failure risk assessment of pipelines [Текст] / *I. M. Dmytrakh* // *Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines: NATO Science for Peace and Security Series*. – The Netherlands: Springer, 2008. – P. 99–113. **7.** *Dmytrakh, I. M.* On corrosion fatigue initiation from notches and the local corrosion fracture approaches [Текст] / *I. M. Dmytrakh* // *Notch Effects in Fatigue and Fracture: NATO Science Series*. – The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. – V. 11. – P. 331–346. **8.** *Dmytrakh, I. M.* Relationship between fatigue crack growth behaviour and local hydrogen concentration near crack tip in pipeline steel [Текст] / *I. M. Dmytrakh, O. D. Smiyan, A. M. Syrotyuk [at all]* // *International Journal of Fatigue*. – 2013. – V. 50. – P. 26–32. **9.** *Panasyuk, V. V.* Fatigue crack growth in corrosive environment [Текст] / *V. V. Panasyuk, L. V. Ratych, I. N. Dmytrakh* // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. – 1984. – V. 7, Is. 1. – P. 1–11. **10.** *Paris, P.* A critical analysis of crack propagation laws [Текст] / *P. Paris, F. Erdogan* // *Journal of Basic Engineering*. – 1963. – V. 85, № 4. – P. 528–533. **11.** *Paris, P. C.* A rational analytic theory of fatigue [Текст] / *P. C. Paris, M. P. Gomez, W. E. Anderson* // *The Trend in Engineering*. – 1961. – V. 13, № 1. – P. 9–14. **12.** *Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines* [Текст]: NATO Science for Peace and Security Series. – The Netherlands: Springer, 2008. – 350 p. **13.** *Vainman, A. B.* On the Influence of the Media on the Metal of Steam-and-Water Systems of Supercritical-Pressure Power Units [Текст] / *A. B. Vainman, O. I. Martynova, and O. D. Smiyan* // *Materials Science*. – 1995. – V. 31, № 5. – P. 624–635.

Bibliography (transliterated): **1.** *Vainman, A. B., Melekhov, R. P., Smiyan, O. D.* (1990) Vodorodnoe okhrupchyvanie elementov kotlov vysokoho davleniya. Kyiv: Naukova dumka. **2.** *Hladyshch, H. P., Martynova, O. Y., Denysov, V. E.* (1989) Vliyanye manevrennykh rezhymov na pokazately kachestva vody i para enerhoblokov SKD. Elektrycheskiye stantsyy, 3, 15–18. **3.** *Hrafova, Y. A., Melnyk, L. A., Hrebeshok V. D.* (1992) Hlubokaya ochystka yonytov, ispolzuemykh v protsessakh vodopodgotovky. Khymyya y tekhnolohyya vody, 3, 185–199. **4.** *Lakomskyy, V. Y., Smiyan, O. D.* (1971) Nekotorye osobennosti provedeniya lokalnoho mass-spektralnoho analiza metodov soderzhanye hazovykh pryemesey. Metody opredeleniyya hazov v metallakh i splavakh, 115–124. **5.** *Fracture mechanics and strength of materials* (2005): Reference manual / Editor-in-Chief V. V. Panasyuk. V. 7: Reliability and durability of structural elements for heat-and-power engineering equipment. *Dmytrakh, I. M., Vainman, A. B., Stashchuk, M. H., [at all]*. Kyiv, PH „Academperiodyka”. **6.** *Dmytrakh, I. M.* (2008). Corrosion fatigue cracking and failure risk assessment of pipelines. *Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines: NATO Science for Peace and Security Series*, 99–113. **7.** *Dmytrakh, I. M.* (2001) On corrosion fatigue initiation from notches and the local corrosion fracture approaches. *Notch Effects in Fatigue and Fracture: NATO Science Series*, V. 11, 331–346. **8.** *Dmytrakh, I. M., Smiyan, O. D., Syrotyuk A. M. [at all]*. (2013) Relationship between fatigue crack growth behaviour and local hydrogen concentration near crack tip in pipeline steel. *International J. of Fatigue*, V. 50, 26–32. **9.** *Panasyuk, V. V. Ratych, L. V., Dmytrakh, I. N.* (1984) Fatigue crack growth in corrosive environment. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. V. 7, 1, 1–11. **10.** *Paris, P., Erdogan, F.* (1963) A critical analysis of crack propagation laws. *J. of Basic Engineering*, V. 85, 4, 528–533. **11.** *Paris, P. C., Gomez, M. P., Anderson W. E.* (1961) A rational analytic theory of fatigue. *The Trend in Engineering*. V. 13, 1, 9–14. **12.** *Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines* (2008): NATO Science for Peace and Security Series. **13.** *Vainman, A. B., Martynova, O. I., and Smiyan, O. D.* (1995) On the Influence of the Media on the Metal of Steam-and-Water Systems of Supercritical-Pressure Power Units. *Materials Science*, V. 31, 5, 624–635.

Надійшла (received) 08.10.2014

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

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

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГАЗОВОГО ТА ІОННО-ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ НА ЗМІНУ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ 30Х3ВА

Метою роботи є вивчення структури і властивостей плунжерів з лекованої сталі 30Х3ВА після газового та іонно-плазмового азотування. В порівнянні з газовим азотуванням іонно-плазмове азотування забезпечує: скорочення тривалості обробки 5–10 разів, як за рахунок скорочення часу нагріву і охолодження садки, так і за рахунок зменшення часу ізотермічної витримки; зниження крихкості зміцненого шару; скорочення витрат робочих газів в 20–100 разів; скорочення витрат електроенергії в 1,5–3 разів; виключення операції депасивації; зниження деформації, що виключає фінішне шліфування; простоту й надійність екранного захисту від азотування незміцнюємих поверхонь; покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва. Лл.: 19. Бібліогр.:18. назв.

Ключові слова: легована сталь, газове азотування, іонно-плазмове азотування, хіміко-термічна обробка, дифузійний шар, глибина шару, мікрокрихкість.

Вступ. Вплив експлуатаційних факторів на технічний стан об'єктів проявляється у вигляді відхилень параметрів від норм внаслідок зносу, старіння деталей та регулювання агрегатів.

Необхідність підвищення ресурсів і якості роботи плунжерів насосів з метою зниження витрат на ремонт паливної апаратури вимагає відповідати високим критеріям по точності виготовлення і якості поверхневого шару (мікротвердість, шорсткість) та бути стійкими на знос. Такі вимоги до відповідальних деталей можуть бути виконані тільки при використанні дорогих матеріалів з додатковою термічною обробкою або при використанні методів хіміко-термічної обробки таких як азотування.

Застосування процесу азотування спрямоване на зміцнення різноманітних сталей і сплавів, деталей машин та інструментів, що експлуатуються за різних умов. Азотування має багато технологічних варіантів і вибір того чи іншого процесу визначається технологічністю, можливістю регулювання будови утворюваного шару, швидкістю насичення поверхні, часом підготовчих робіт, рівнем автоматизації, економічністю, дотриманням вимог з охорони праці та навколишнього середовища.

Широкого розповсюдження набули процеси азотування в газових середовищах (в аміаку, в аміаку із природним газом, триетаноламіном, в аміаку з ендогазом або екзогазом); у рідких середовищах (у соляних, ціанідо-ціанітних, азотно-натрієвих й азотуючих розплавах); у вакуумі, тліючому розряді, а також проведення процесів насичення азотом під тиском, імпульсної подачі насичуючих середовищ, розведення аміаку азотом, азотно-водневими сумішами, повітрям тощо.

Аналіз публікацій. У загальному виді технологічний процес обробки виробів, що азотують, можна представити у вигляді наступних послідовних етапів [1–2]:

- 1) попередня термічна обробка з метою забезпечення сталі необхідного комплексу механічних властивостей;
- 2) механічна обробка деталі, яка включає шліфування;
- 3) захист ділянок, що не підлягають азотуванню;
- 4) азотування;
- 5) остаточне шліфування чи доведення виробу відповідно до заданих допусків.

Розрізняють два види азотування, а саме низькотемпературне та високотемпературне. Низькотемпературне азотування проводять при температурі нижче 600 °С в різних середовищах, що насичують. У результаті незалежно від середовища відбувається переважна дифузія азоту, а будова шару визначається діаграмою стану залізо-азот. Вуглець (кисень) бере участь у формуванні поверхневих нітридних зон шару, додаючи їм карбонітридний (карбоксінітридний) характер.

Низькотемпературне азотування проводять у частково дисоційованому аміаку, у суміші аміаку й азоту, аміаку і попередньо дисоційованому аміаку. Для активізації процесу в аміачно-водневу суміш додають кисень чи повітря. Широке застосування знаходять атмосфери на основі частково дисоційованого газу, ендогазу і екзогазу, продуктів піролізу триетаноламіна, синтина, гасу, спирту й ін. При рідкому азотуванні застосовують розплави ціанід – ціаністих солей.

Високотемпературне азотування проводять при температурах вище евтектичного перетворення (600–1200 °С). Цей вид азотування застосовують для феритних і аустенітних сталей, тугоплавких металів (титан, молібден, ніобій і ін.) [3].

Ефективність процесів азотування регулюється азотним потенціалом – N_p , на який впливають умови, що виникають на поверхні оброблюваного матеріалу. Кінцевий стан поверхні і хімічний склад матеріалів значно впливає на схолоненість поверхні. Насамперед, це відноситься до матеріалів, що містять хром: вони мають на поверхні оксиди хрому, що перешкоджають взаємодії з газами, що містять азот. Тому велика кількість робіт присвячена дослідженню різних способів підвищення активності поверхні – дробіструмна обробка, оксидування, обробка хлоридомісткими речовинами чи фтором [4].

Додавання вуглецю в будь-якому випадку сприяє підвищенню активності поверхні з утворенням ϵ -карбонітрида, і середовище, що насичує, до складу якої входить вуглевмісний газ, може прискорити протікання реакцій.

Азотування в газовому середовищі. Застосування різних газових атмосфер для насичення дозволяє оптимізувати будову і склад азотованого шару. Серед фахівців, що працюють в області азотування, існують визначені розбіжності з приводу того, наскільки тісно зв'язані формування шару хімічних сполук і його властивості з наявністю і відсутністю вуглецю. При цьому використане для всіх процесів загальне поняття "азотування" повинне бути уточнене для того, щоб чітко розрізнити безпосередньо "азотування", "карбонітрування" і "нітрооксидазотування", оскільки кожний з них відрізняється характерною тривалістю й отриманими в результаті властивостями.

Обмежено використовується азотування при зниженні тиску з іонізацією і без її, однак такі процеси звичайно більш тривалі, чим зв'язані з використанням

плазми. На противагу їм азотування з додаванням підвищеного тиску у визначеній системі сприяє підвищенню азотного потенціалу, унаслідок чого такий спосіб обробки знаходить застосування в промисловому масштабі. Додавання вуглецю в будь-якому випадку сприяє підвищенню активності поверхні з утворенням ϵ -карбідів, і середовище, що насичує, у складі якої входить вуглеводневий газ, може прискорити протікання реакцій [5].

Якщо парціальний тиск азоту в азотуючій атмосфері підтримувати меншим тиском дисоціації нітридів основного металу, то шар буде складатися тільки з зони внутрішнього азотування – твердого розчину азоту в основному металі, його нітридів і нітридів легуючих елементів. Такий шар сприяє підвищенню границі витривалості.

При більш високому парціальному тиску азоту утвориться композиційний шар, на поверхні якого розташовується суцільна зона нітридів основного металу. У цьому випадку, крім підвищення границі витривалості, досягаються високі корозійна і зносостійкість, задиростійкість, припрацьовуваність поверхонь тертя [6].

Здійснюють також азотування в суміші попередньо дисоційованого аміаку зі свіжим аміаком (5–15 %). У такій атмосфері утвориться шар тільки азотистого α -твердого розчину. Для зниження крихкості шару й економії аміаку рекомендується азотування в аміаку, розведеному азотом (азотним газом $N_2 + 4\% H_2$) до 70–80 %.

Введення в аміачно-водневу атмосферу кисню, повітря, вуглекислого газу і їхньої суміші прискорює процес насичення сталі азотом. У суміші аміаку і кисню (4 л на 100 л NH_3) швидкість азотування зростає в 2 рази в порівнянні зі звичайним азотуванням в аміаку.

Щоб зменшити крихкість шару, у деяких випадках застосовують азотування, що проводять в атмосфері цілком дисоційованого аміаку, при 520–560 °С. Одне сприяє, з одного боку, видаленню азоту з поверхневих шарів, а з іншого боку – дифузії його всередину. Зниження концентрації азоту в поверхневому шарі приводить до усунення в структурі шару ϵ -фази і, як наслідок цього, до зменшення крихкості азотованого шару без зміни його твердості.

На підставі наявних у літературі аналітичних залежностей, що описують загальні закономірності процесу азотування і кінетики формування окремих фаз, розроблена методика азотування в газовій атмосфері на прикладі легованих сталей 20Х3МВФА, 20ХГНМ, EI961, титанових сплавів [7–9].

Автори [9] в якості базового методу розглянули газове азотування, яке комбінували з азотуванням в тліючому розряді, а також іонною імплантацією азоту. Проаналізували фазовий склад нітридних шарів і особливості газонасичення. Вивчили мікротвердість і шорсткість поверхні, а також зносостійкість покриттів. Показали, що поєднання газового азотування з іншими способами азотування дозволяє підвищити зносостійкість титанових сплавів. Найбільш сприятливим поєднанням є послідовне проведення газового азотування і азотування в тліючому розряді, оскільки не тільки ефективніше підвищує зносостійкість нітридних поверхонь, але і найбільшою мірою сприяє збереженню механічних властивостей титанової матриці.

Азотування в плазмі тліючого розряду. Один зі способів інтенсифікації

процесу азотування – застосування різних електричних газових розрядів.

Найбільше поширення в даний час одержує азотування іонізованим азотом у плазмі тліючого розряду (іонне азотування). Плазма може прискорювати реакції, підвищуючи енергію іонів азоту, додатково активуючи їх у результаті катодного розпилення. Традиційний процес іонізації удосконалений розробкою методів плазмового азотування з каркасом, що екранує, чи з активним екраном, що забезпечує підвищення ефективності процесу і якості. Плазмове азотування відповідає екологічним вимогам, експлуатується велика кількість установок для його реалізації, особливо в Європі, але в інших регіонах цей процес не знайшов широкого поширення.

Іонне азотування має наступні переваги перед стандартним газовим процесом:

- велику швидкість насичення (у 1,5–2 рази);
- можливість проведення регульованих процесів азотування з оптимізацією дифузійних шарів за фазовим складом і будовою з урахуванням умов експлуатації деталей;
- мінімальні деформації виробів у процесі обробки і високий клас чистоти поверхні;
- велику економічність процесу, підвищення коефіцієнта використання електроенергії, скорочення витрати газів, що насичують.

Азотування сталі 38Х2МЮА в тліючому розряді в середовищі азоту як в умовах прояву ЕПК, так і без прояву ЕПК (ефект порожнього катода дозволяє підвищити струм тліючого розряду в 6-10 разів і в результаті збільшити швидкість азотування в 1,2–1,5 рази при однакових напругах горіння заряду і тисках в камері), не призвело до зміцнення поверхні, що пов'язано з наявністю кисню в газорозрядній камері, який блокує процес азотування. Використання ефекту порожнього катода при азотуванні титанових сплавів в чистому азоті дозволяє збільшити його твердість від 400 до 1000 HV₅₀. Введення ацетилену в суміш азоту і аргону сприяє ефективному насиченню поверхні сталі 38Х2МЮА азотом і дозволяє досягти твердості поверхні до 1000 HV₅₀ при азотуванні (нітроцементзації) у тліючому розряді. Причому товщина карбонітрідної зони, отриманої в тліючому розряді з порожнім катодом, в 2–3 рази більше [10].

Плазмове азотування (ПА) широко застосовують для поліпшення властивостей поверхні інструменту та зносостійких поверхонь різних виробів у машинобудуванні.

Відзначають розробку фірмою PlaTeg технології за допомогою однополярної або двополярної пульсуючої плазми постійного струму, що дозволяє поліпшити зносостійкість і корозійну стійкість поверхні при одночасному підвищенні втомної міцності сталей. Розроблена технологія володіє високими техніко-економічними показниками і дозволяє здійснювати процеси азотування, нітроцементзації, оксидування, хімічного осадження з газового середовища, ультратонку очистку поверхні. Іншим напрямком роботи зазначеної фірми є створення плазмового обладнання зниженого тиску для модифікування поверхні виробів плазмою середньої і підвищеної частоти і мікročастотною плазмою [11–12].

Іонна хіміко-термічна обробка має переваги в порівнянні зі звичайними

способами, але одночасно пов'язана з більш високими витратами. Забезпечити помітне зниження витрат змогла фірма ELTRO (Німеччина), яка розробила модуль для іонного азотування з двома працюючими по черзі анодними столами, на яких встановлюються оброблювані деталі. Велику частину часу модуль працює в автоматичному режимі. У цикл обробки включені нанесення написів лазером і укладання деталей в стапель. На ці операції витрачається не більше 30 с на деталь [13].

Авторами проведено дослідження впливу O_2 на хід азотування сталей у плазмі, легованих Cr. Шляхом добавки повітря відбувається зміна в широких межах окисного потенціалу робочого газу. За аналогією з окисненням в ході азотування в газовому середовищі такі ж процеси в плазмовому середовищі у сталей з низьким змістом Cr ведуть до прискореного зростання сполучного шару. Для сталей з високим вмістом Cr добавка повітря значно погіршує результати азотування. Для таких сталей негативний вплив неконтрольованих домішок O_2 може бути компенсований достатньо високою часткою H_2 у робочому газі [14].

Спільне азотування і старіння Cr–Ni–Mo–Al при $500^\circ C$ протягом 2–8 годин підвищує твердість поверхні до 1000 HV, формуючи глибину азотованого шару від 100 до 200 мкм. Твердість поверхні зразків, оброблених на твердий розчин, після досліджуваного процесу підвищується з 30 до 39 HRC, що свідчить про можливість суміщення процесів азотування і старіння. Зразки після старіння при даній обробці не проявляють ефекту перестарівання. Утворений при плазмовому азотуванні поверхневий комплексний шар підвищує корозійну стійкість сталі [15].

Азотування в рідких середовищах. Процес азотування в розплаві солей одержав поширення в різних галузях машинобудування для зміцнення деталей широкої номенклатури, що працюють на знос в умовах закономірних згинаючих навантажень.

Найбільше поширення одержали ванни. Недавнє досягнення в області технології азотування в соляних ваннах – розробка низькотемпературного процесу. Низькотемпературна обробка при $480^\circ C$ штампів для пресування алюмінію видавлюванням і іншого формуючого оснащення використовуються усе ширше, забезпечуючи підвищення зносостійкості без зниження твердості навіть при повторному азотуванні. Крім того, азотування при зниженні температури дозволяє звести до мінімуму жолоблення таких деталей, як вали, у тому числі і колінчаті вали для автомобілів [16].

Соляні ванни на основі ціанатів мають такі ж чи навіть більш високий азотний потенціал, а розроблені методи контролю і регулювання складу ванн забезпечують значний прогрес, дозволяючи позбутися практично від усіх недоліків. Висока активність соляних ванн на основі ціанатів зберігається навіть у випадку, якщо не забезпечується видалення солей, що погіршилися по якості, і технології регенерації, проведені в даний час, забезпечують значну економію.

З метою підвищення зносостійкості і корозійної стійкості застосовують новий процес азотування заліза і сталевих виробів, заснований на формуванні комплексного оксидного шару Fe–Li при обробці в соляній ванні, що містить катіони Li, Na і K і аніони CNO^- і CO_3^{2-} з добавками гідрооксидів Li, Na і K. Для перемішування ванни застосовують продувку вологим повітрям ($1 \cdot 10^{-2}$ кг· H_2O) /

(1 кг сухого повітря). Кращим є зміст Li, Na і K, при якому температура затвердіння суміші карбонатів Li, Na, K нижче 500 °С. Рекомендують співвідношення компонентів у ванні для азотування: Na і K – 2:8–8:2, змісту CNO^- - 50035%, CN^- - 2% і температуру соляної ванни 450–650 °С [17].

Низькотемпературне азотування. Проведення низькотемпературних процесів стало можливими завдяки чіткому підбору хімічного складу й удосконаленню методів хімічного контролю. Плазмове азотування дозволяє внаслідок дифузії вуглецю чи азоту формувати при низькій температурі зміцнений шар.

Азотування без утворення шару хімічних сполук ефективно для сталей, легованих хромом, таких як нержавіючі, а також може бути рекомендоване для підвищення властивостей пружинних сталей.

Азотування і карбонітрування в газовому середовищі, включаючи обробку з використанням плазми, є прогресивними, і представляється можливим, що подальше дослідження й удосконалення цих процесів дозволяють підвищити продуктивність. Успішна реалізація азотування в газовому середовищі і плазмі залежить від контрольних розмірів, складу атмосфери і температури.

Азотування в плазмі становить практичний інтерес, однак при цьому необхідно вирішення питань, зв'язаних зі зниженням вартості устаткування і підвищення ефективності [18].

Азотування в соляних ванних ефективно для більшості марок у порівнянні з процесами в газових середовищах, включаючи і процеси з використанням плазми. Азотування в соляних ваннах при температурах нижче 480 °С дозволяє сформувати тонкий зміцнений шар без утворення шару хімічних сполук.

Метою роботи є вивчення структури і властивостей плунжерів з легованої сталі 30Х3ВА після газового та іонно-плазмового азотування.

Методика експерименту. Матеріалом для дослідження в даній науково-дослідній роботі є конструкційна теплостійка легована сталь 30Х3ВА (ГОСТ 20072-74).



Рис. 1 – Загальний вид плунжера

Характеристика деталі.

Плунжер працює в парі з втулкою і піддається тертю, напруженням та деформаціям, які виникають під навантаженням, температурі та іншим факторам. Загальний вид плунжера показаний на рис. 1. Головні вимоги до плунжерів при виготовленні – це забезпечення високої твердості поверхневого шару, зносо-стійкості, корозійної стійкості та малої шорсткості робочої поверхні, тому такі деталі після поліпшення азотують.

Характеристика середовища для газового та іонно-плазмового азотування.

Газове та іонно-плазмове азотування деталей (плунжерів) проводили в середовищі дисаційованого аміаку.

Аміак – NH_3 , нітрид водню, при нормальних умовах – газ без кольору з різким характерним запахом нашатирного спирту, майже вдвічі легше повітря, отрута. Розчинність NH_3 у воді дуже велика – майже 1200 об'ємів (при 0 °C) або 700 об'ємів (при 20 °C) в об'ємі води. В холодильній техніці носить назву R717, де R – Refrigerant (холодогент), 7 – тип холодогенту (неорганічне сполучення), 17 — молекулярна маса.

Молекула аміаку має форму тригональної піраміди з атомом азоту на вершині (рис. 2). Три неспарених р-електрона атому азоту приймають участь у відтворенні полярних ковалентних зв'язків з 1s-електронами трьох атомів водню (зв'язок N–H), четверта пара зовнішніх електронів є неподіленою, вона може утворити донорно-акцепторний зв'язок з іоном водню, що складає іон амонію NH_4^+ . Завдяки тому, що двухелектронна хмара строго орієнтована в просторі, молекула аміаку володіє високою полярністю, яка приводить до його доброї розчинності у воді (рис. 3). В рідкому стані молекули аміаку пов'язані між собою водневим зв'язком.

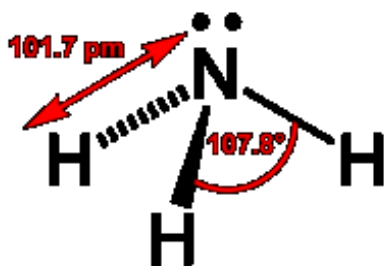


Рис. 2 – Хімічна формула аміаку

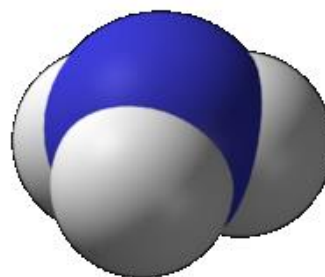
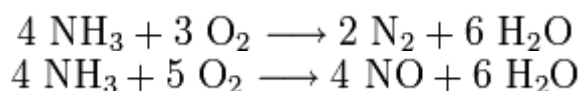


Рис. 3 – Вигляд молекули аміаку

При нагріванні аміак проявляє відновлюючі властивості. Так, він горить в атмосфері кисню, відтворюючи воду і азот. Окислення аміаку повітрям на платиновому каталізаторі дає оксиди азоту, що використовується в промисловості для отримання азотної кислоти:



Технологія ХТО та обладнання для азотування. Захист ділянок, які не азотуються, здійснюють шляхом нанесення в 2–3 шари ізоляційного лаку ХВЛ-21 (ТУ 6-10-1244), лудінням.

Для газового азотування застосовують електропіч опору типу УДА-901, загальний вид якої зображений на рис. 4.

Для здійснення процесу іонно-плазмового азотування застосовують піч НГВ 6,6/6, загальний вид якої показаний на рис. 5.



Рис. 4 – Загальний вид печі для газового азотування УДА-901



Рис. 5 – Загальний вид печі для іонно-плазмового азотування НГВ 6,6/6

Газове азотування плунжерів. Для здійснення процесу газового азотування встановлено таке обладнання:

- а) електропіч УДА-901 із щитами керування;
- б) стелаж з аміачними балонами;
- в) адсорбер (силікагелевий осушувач);
- г) дисоціомерт, U-подібні манометри, масляний затвор, крани.

Електропіч опору типу УДА-901 призначена для газового азотування. Загальний вигляд печі для газового азотування УДА-901 показаний на рис.4. Для азотування застосовують рідкий аміак першого сорту з вологою до 0,2 % (ГОСТ 6221–75), який постачається в балонах під тиском до 30 атм. Аміак подається в піч з балонів. Балони з аміаком встановлюються на спеціальному стелажі. Всі балони з'єднані гнучкими шлангами з устаткуванням. Рідкий аміак із балонів спрямовується в адсорбер. Контроль тиску аміаку здійснюється манометром, який встановлюється на колекторі. Тиск на I-му ступені редуктор повинен бути в межах 2 атм. Газоподібний аміак крізь колектор надходить в аміачний 2^x ступеневий редуктор ДР-ІА, який призначений для редуціювання та підтримки тиску у системі трубопроводів.

Адсорбер призначений для осушування аміаку, який надходить у піч. Адсорбер – це пустий циліндр, оснащений з двох боків фланцями, які кріпляться до нього за допомогою болтів. В середину адсорбер вставляється сітчастий кошик із вологовідокремлювачем – силікагелем (CaCl_2). Аміак надходить в адсорбер через нижній штуцер, проходить крізь силікагель та осушений крізь нижній штуцер, надходить в систему. Дисоціометр призначений для визначення ступеню дисоціації аміаку і є ємністю, градуйованою на 100 ділень. Принцип дії приладу оснований на властивості аміаку розчинятися у воді. Зверху та знизу ємність закривається кранами. Одна гілка нижнього двоходового крану з'єднана з лінією викиду рідини в каналізацію, а друга – з лінією викиду газів у повітря (крізь масляний затвор).

Для визначення ступеню дисоціації аміаку відкривають обидва крани таким чином, щоб гази, що відходять з печі, проходили крізь дисоціометр. Через 40–60 с закривають нижній кран, а інший повернути таким чином, щоб дисоціометр наповнювався водою. Аміак розчиняється у воді, а азот та водень не розчиняються. За об'ємом, наповненим газами, визначається ступінь дисоціації аміаку. При газовому азотуванні плунжерів зі сталі 30Х3ВА при температурі 525 °С ступінь дисоціації аміаку знаходиться в межах 30–50 %.

Маршрут виготовлення плунжерів складається з відпалу, покращення (гартування 880 ± 10 °С з високим відпуском 650 ± 10 °С), знежирювання, газового азотування протягом 40–50 годин, охолодження деталей, контролю твердості на поверхні і серцевини деталі, глибини дифузійного шару, мікроструктури, мікрокрихкості. Деталі розміщують в пристрої так, щоб вони не доторкувалися один до одного і щоб продукти розпаду аміаку вільно попадали на поверхню, яка підлягає азотуванню. Після цього деталі загружають в піч УДА-901 (рис. 6) та герметично зачиняють.

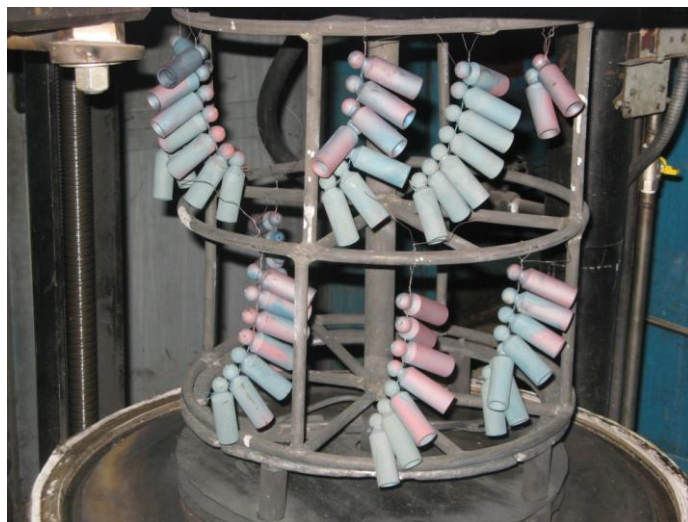


Рис. 6 – Деталі в печі УДА-901

Продувають муфель печі до повного вилучення з нього повітря, що установлюється по дисоціометру (повне заповнення дисоціометру водою вказує на відсутність повітря в печі), потім вмикають піч. Термін продувки складає 30–60 хв. Вибір температури азотування для деталей визначається відповідно до значень глибини та твердості шару. При високій твердості і невеликому шарі застосовують низьку температуру, а при великій глибині та меншій твердості пристосовують більш високу температуру; при великій глибині та високій твердості застосовують двохступеневий режим азотування.

Для визначення глибини азотованого шару використовувалась шкала об'єкт-мікрометра (рис. 7). Мікроструктура сталі 30Х3ВА після газового азотування приведені на рис. 8.

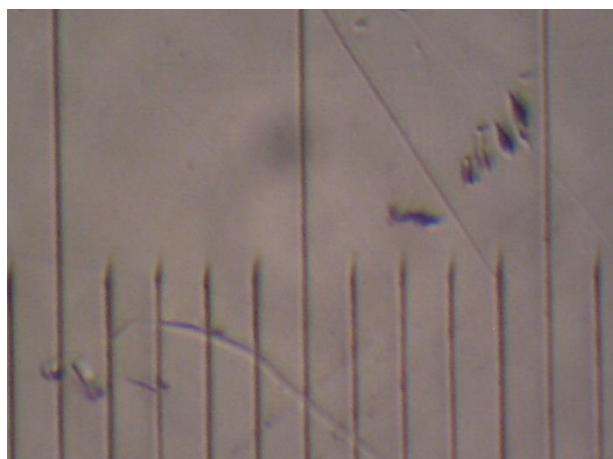
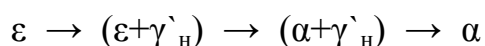


Рис. 7 – Шкала об'єкт-мікрометра; $\times 200$

При насиченні атомарним азотом на поверхні легованої сталі утворився при температурах нижче евтектоїдної ($590\text{ }^{\circ}\text{C}$), а саме $525\text{ }^{\circ}\text{C}$ дифузійний шар, який складається з нітридної зони і підшару α -твердого розчину. Нітридна зона після повільного охолодження утворена з ε -фази (Fe_{2-3}N) і γ' -фази (Fe_4N):



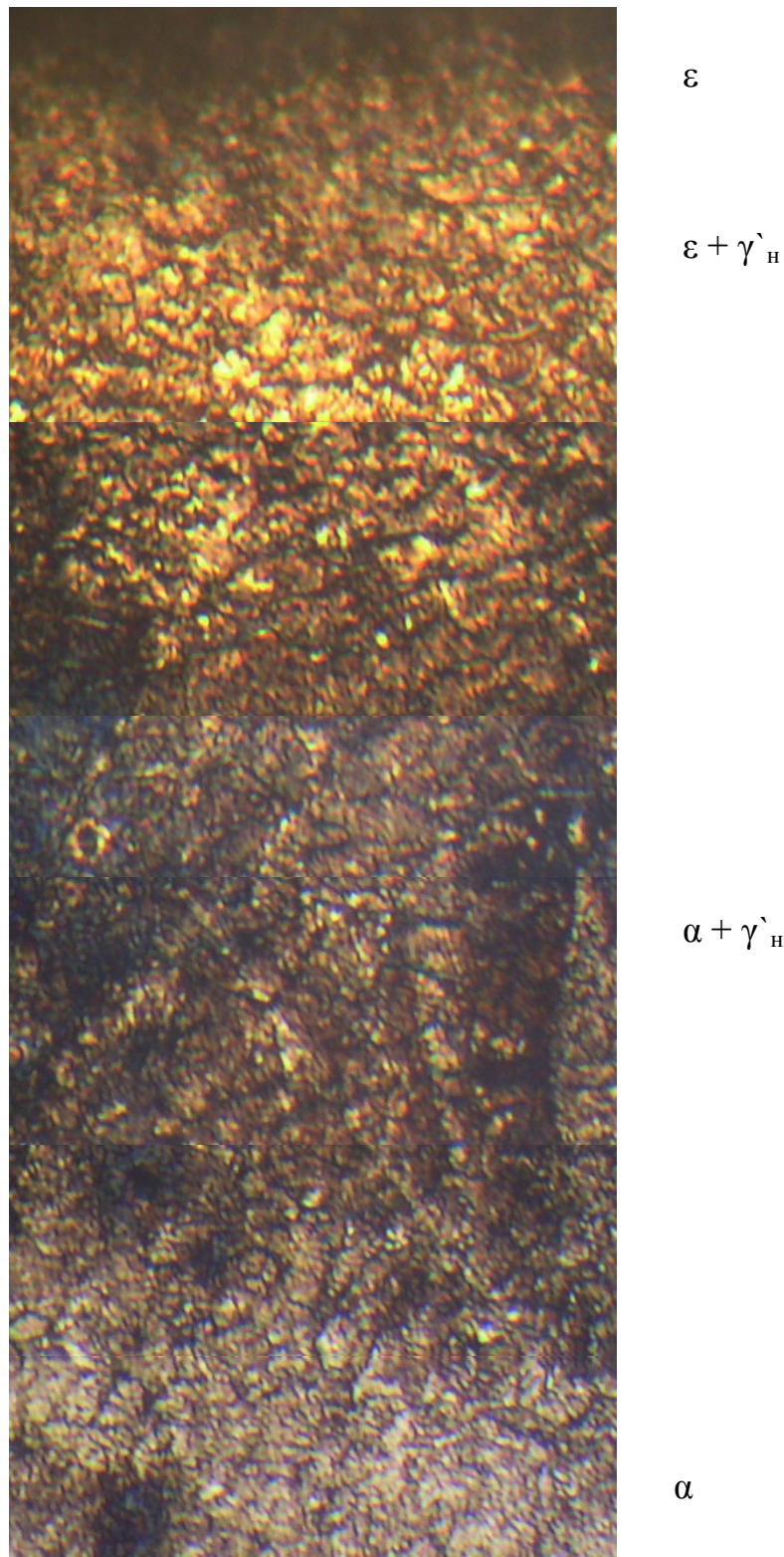


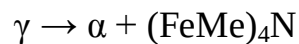
Рис. 8 – Мікроструктура дифузійного шару плунжерів з легованої сталі 30X3BA після газового азотування в печі УДА-901 при 525 °С протягом 50 годин; $\times 200$

У підшарі α -твердого розчину при охолодженні виділяється γ' -фаза (Fe_4N). Цю частину азотованого шару називають зоною внутрішнього азотування. Вона являє собою багатофазну область, що складається з азотованого твердого розчину

основного металу, його нітридів і нітридів легуючих елементів. Зони внутрішнього азотування утворюються в сплавах заліза, легованих нітридоутворюючими елементами: W та Cr. Вони, розчиняючись у фериті, підвищують розчинність азоту в α -фазі та утворюють спеціальні нітриди типу MeN і Me₂N.

При азотуванні відбувається здрібнювання блоків матриці, виникнення пружних напружень і дефектів кристалічної решітки α -фази. Завдяки розвитку полігонізованої структури з'являється велика кількість додаткових каналів дифузії. Це дає можливість атомам азоту в процесі насичення єдиним фронтом переміщатися в глиб α -фази. Виділення нітридів супроводжується збідненням твердого розчину як по азоту, так і по нітридоутворюючому елементу. При утворенні зон внутрішнього азотування для коагуляції нітридів, що виділилися, необхідний дифузійний приплив не тільки атомів азоту, але і легувальних елементів. Цей потік максимальний на границі «шар-матриця», тому найбільш інтенсивне укрупнення нітридів спостерігається наприкінці дифузійного шару, тобто зі збільшенням відстані від поверхні дисперсність нітридів зменшується. Також відзначено, що в ε -фазі за рахунок дифузії легувальних елементів карбіди розчиняються.

Структура азотованого шару формується не тільки при температурі насичення, але й у процесі наступного охолодження. У період охолодження після азотування відбувається розпад α -твердого розчину. У залежності від швидкості охолодження розпад протікає в більшому чи меншому ступені. При дуже повільному охолодженні крім зернистих нітридів легувальних елементів можливо утворення голчастих нітридів (Fe)₁₆N₂, (FeMe)₄N, що виділяються з α -фази. Азотистий аустеніт зазнає евтектоїдного перетворення:



Властивості азотованого шару визначаються структурою, що сформувалася в процесі насичення сталі азотом і перетвореннями, що протікають в аустеніті та фериті при охолодженні.

Іонно-плазмове азотування.

Характеристика іонно-плазмової технології хіміко-термічної обробки та її переваги перед газовим азотуванням. Іонно-плазмове азотування (ІПА) – це різновид ХТО деталей машин, інструменту, штампової та ливарної оснастки, яка забезпечує дифузійне насичення поверхневого шару сталі азотом в азотно-водородній плазмі при температурах 400–600 °C (рис. 9).

Принцип дії ІПА полягає в тому, що в розрядженому ($p=150\text{--}1000$ Па) азотовмісному газовому середовищі між катодом – деталями і анодом – стінками вакуумної камери – викликається аномальний тліючий розряд, який утворює активне середовище (іони, атоми), що забезпечує формуванню азотованого шару. Технологічними факторами, які впливають на ефективність іонного азотування, являються температура процесу, тривалість насичення, тиск, склад і витрати робочої газової суміші.



Рис. 9 – Обладнання для іонно-плазмового азотування

Температурний діапазон іонного азотування при зміцненні сталей ширше, чим газового і знаходиться в межах 400–600 °С. Обробка при температурах нижче 500 °С особливо ефективна при зміцненні виробів з легованих сталей, тому що значно підвищує їх експлуатаційні властивості при збереженні твердості серцевини на рівні 55-60 HRC. ІПА сприяє значному підвищенню зносостійкості та опору задирів і втомленості. Змінюючи склад газу, тиску, температуру і час витримки можна отримати шари необхідної структури та фазового складу. Оптимізація властивостей зміцненої поверхні забезпечує за рахунок необхідного сполучання нітридного й дифузійного шарів.

В наслідок іонного азотування можуть бути суттєві підвищення наступних характеристик виробів:

- зносостійкість,
- втомна витривалість,
- антизадирні властивості,
- теплостійкість,
- корозійна стійкість.

ІПА забезпечує стабільну якість обробки з мінімальною різницею властивостей від деталі до деталі та від садки до садки. Крім того, в порівнянні з газовим азотуванням в печі, ІПА забезпечує:

- скорочення тривалості обробки в 2–5 разів, як за рахунок скорочення часу нагріву і охолодження садки, так і за рахунок зменшення часу ізотермічної витримки (рис. 10);

- зниження крихкості зміцненого шару;
- скорочення витрат робочих газів в 20–100 разів;
- скорочення витрат електроенергії в 1,5–3 разів
- виключення операції депасивації;
- зниження деформації настільки, що виключення фінішного шліфування;
- простоту й надійність екранного захисту від азотування незміцнюємих поверхонь;
- покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва;

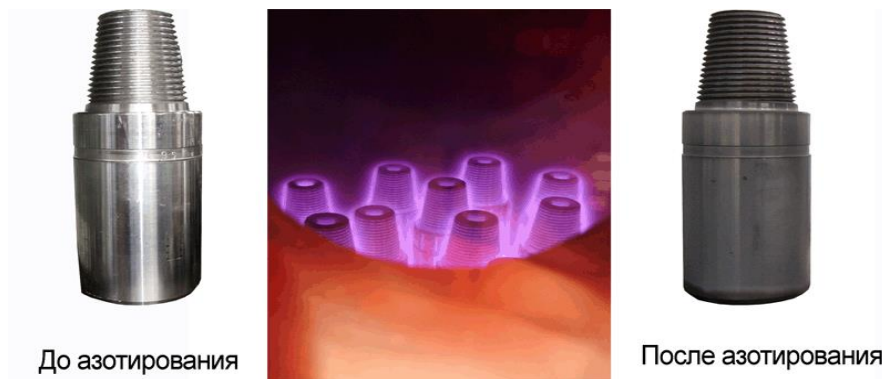


Рис. 10 – Деталі до і після іонно-плазмового азотування

Використання ППА замість газового азотування дозволить зекономити основне обладнання, знизити верстатні й транспортні витрати, зменшити витрати електроенергії та активних газових середовищ.

Застосування іонно-плазмового азотування. ППА найбільш ефективно при обробці крупносерійних партій однотипних деталей: шестерній, валів, осів, зубчастих валів, вал-зубчастих шестерній та ін. Деталі, які оброблені плазмовим азотуванням, мають кращу стабільність розмірів і можуть використовуватися без додаткової обробки.

Основними споживачами обладнання і технології іонно-плазмового азотування є автомобільні, тракторні, авіаційні, суднобудівні і судноремонтні, машино- і верстатобудівні заводи, заводи по виробництву сільськогосподарської техніки, насосного та компресорного обладнання, шестерень, підшипників, алюмінієвих профілів, енергетичних устаткувань та ін. (рис. 11).

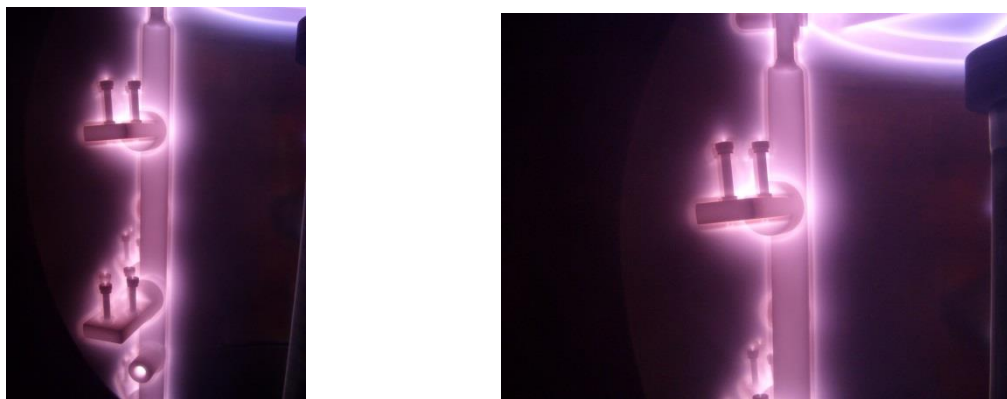


Рис. 11 – Деталі під час іонно-плазмового азотування

Якщо в якості робочого середовища використовується аміак, то це утворює певні труднощі:

- для забезпечення високої якості азотування необхідно очищати аміак від залишків води та олії, що потребує використання додаткового спеціального обладнання;
- при дисоціації аміаку, в робочій камері утворюється деяка кількість метану, неконтрольована присутність якого в робочій атмосфері недопустимо;
- проблеми по техніці безпеки та екології.

Це може призвести до отримання нестійких результатів по твердості азотованого шару.

Іонно-плазмове азотування плунжерів. Перед іонно-плазмовим азотуванням деталі та зразки-свідки промивають бензином, ацетоном та просушують. Набирають деталі на пристрій (рис. 12), закривають установку. Потім в камері утворюють вакуум з тиском не менше 5 Па. Продувають 2–3 рази камеру дисаційованим аміаком протягом 5–6 хвилин до тиску 200–600 Па, потім відкачують з камери газ до тиску 5 Па.



Рис. 12 – Деталі на пристрої для іонно-плазмового азотування

Деталі очищують мікродугами, заповнюють камеру аміаком до тиску 50 Па і вмикають нагрів до температури 390 ± 10 °С. Потім підвищують тиск газу до 1000 Па і проводять азотування при температурі 520 ± 10 °С протягом 4–5 годин. Охолоджують деталі в дві стадії:

- 1) охолодження до 300–250 °С в тліючому розряді (тиск до 0,5–1,0 мм.рт.ст);
- 2) охолодження до 150–100 °С при відключенні тліючого розряду. Далі деталі охолоджують на повітрі.

Мікроструктура азотованих плунжерів в печі НГВ 6,6/6 приведена на рис. 13. Головним достоїнством іонного азотування є можливість отримання тільки дифузійного зміцненого шару, або шару з монофазним нітридом Fe_4N (γ' -фаза) на поверхні, на відмінність від класичного газового азотування в аміаку, де нітридний шар складається з двох фаз – ($\epsilon + \gamma'$), що є джерелом внутрішніх напружень на границі розділу фаз і викликає крихкість і відшарування зміцненого шару при експлуатації.

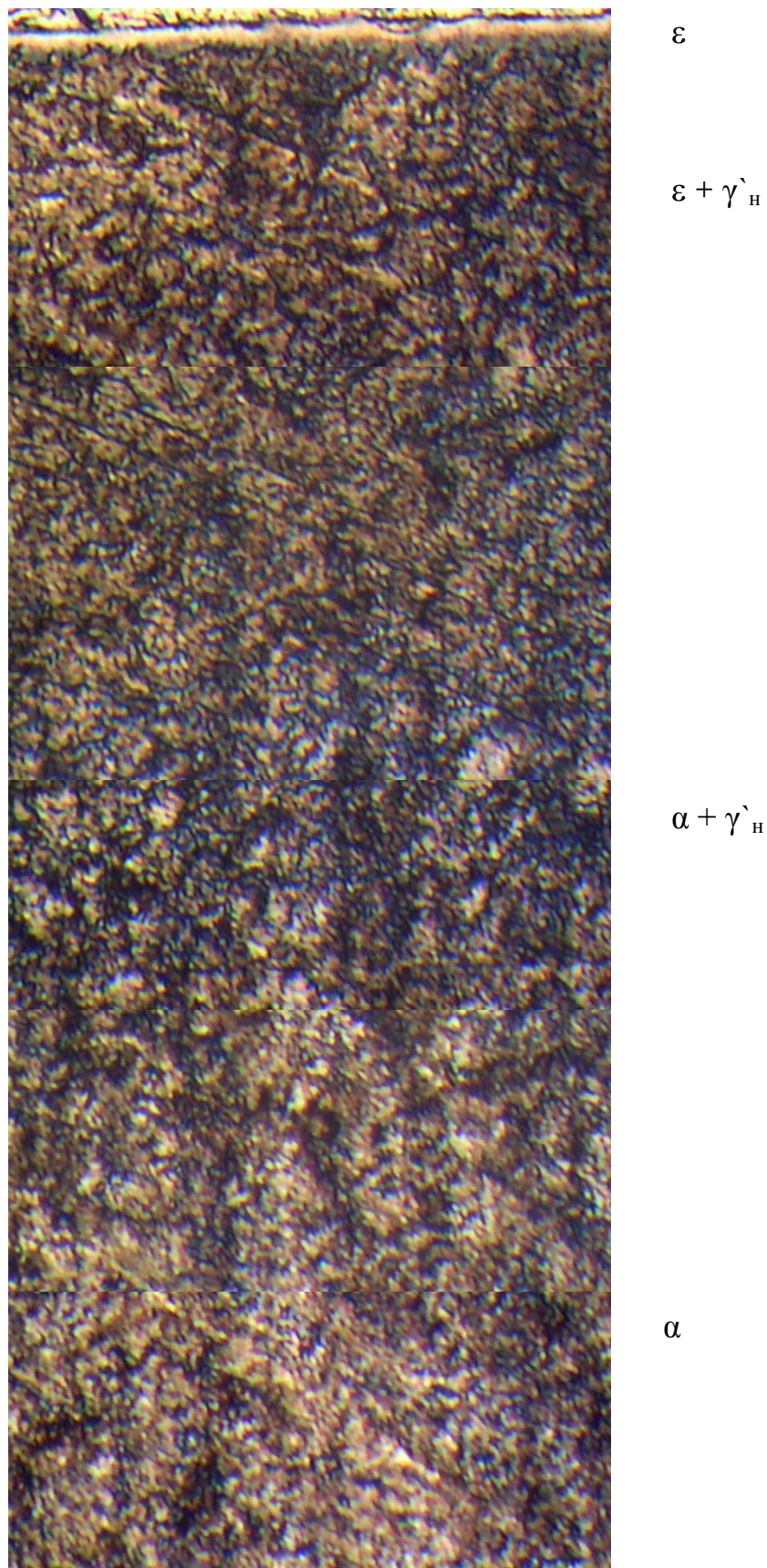


Рис. 13 – Мікроструктура дифузійного шару плунжерів з легованої сталі 30X3BA після іонно-плазмового азотування в печі НГВ 6,6/6 при температурі 525 °С протягом 5 годин; $\times 200$

У структурі нітридного шару спостерігаються залишки колишніх зерен пластинчастого перліту. При сильному збільшенні чітко видно, що пластини цементиту ростуть за рахунок підведення до них азоту з боку фериту, причому доти, поки вони цілком не перейдуть у шар з'єднань. Звідси випливає, що вихідні карбіди при виникненні нітридного шару не розчиняються, а перетворюються в карбонітриди. Крім того, нітридний шар формується внаслідок обумовлених збагаченням азотом структурних змін.

Вуглець, що дифундує при хіміко-термічній обробці, поглинається нітридами, що утворилися в шарі з'єднань, унаслідок чого цей шар можна розглядати як карбонітридний.

Частка обох нітридних фаз ε і γ' визначається ступенем насичення сталі азотом, і тому співвідношення цих фаз при азотуванні можна регулювати величиною витрати середовища, що насичує. У шарі з'єднань при азотуванні, незважаючи на підведення щодо великої кількості азоту, частка ε -нітридів виявляється менше, а частка γ' -нітридів більше.

Зона внутрішнього азотування являє собою багатофазну область, що складається з азотистого твердого розчину основного металу, його нітридів і нітридів легувальних елементів. Зони внутрішнього азотування відносяться до легованої сталі, тому що легувальні елементи (Cr, W) мають більшу спорідненість до азоту, ніж залізо. Азот помітно розчиняється в сплаві і його дифузійна рухливість більше, ніж рухливість легувальних елементів.

Дифузійний підшар, що відповідає зонам внутрішнього азотування другого роду, складається з азотистого твердого розчину нітриду заліза (γ') і легувальних елементів (рис. 13). За рахунок флуктуації спочатку у твердому розчині утворюються кластери, потім зони типу Гінье-Престона, після чого відбувається розрив когерентності й утворення самостійної фази. Утворення нітридів супроводжується зменшенням енергії Гіббса. При зростанні зародка він здобуває дископодібну, пластинчасту чи голчасту форму.

Виділення нітридів супроводжується збіднінням твердого розчину, як за азотом, так і за нітридоутворюючим елементом.

Якщо після азотування охолодження проводиться повільно, то вже в процесі його відбувається виділення γ' -нітридів, унаслідок чого пересичення матричного твердого розчину при кімнатній температурі виявляється менше, ніж після швидкого охолодження. Після повільного охолодження з температури азотування до кімнатної виникають нечисленні, однак відносно протяжні і частково відповідні діаметру зерна нітриди.

Зміна мікротвердості дифузійних шарів легованої сталі 30ХЗВА залежно від способу азотування. Твердість легованої сталі в результаті насичення азотом підвищується. Це пов'язано з виділенням із твердих дисперсних нітридів легувальних елементів, що запобігають легкому протіканню пластичної деформації (блокують рух дислокацій). У легованій сталі підвищення твердості можна пояснити утворенням дуже твердих нітридів нітридоутворюючими елементами в процесі азотування. Кількість поглиненого азоту, а також тип і кількість нітридів, що виділилися, визначають ступінь підвищення твердості. Твердість шару з'єднань, що переважно складається з нітридів, найвища і складає 10,5–11,0 ГПа. Максимальне зміцнення сталі досягається при температурі 525 ± 10 °С, коли в процесі насичення в α -фазі утворюються одношарові за азотом предвиділення, цілком когерентні з решіткою твердого розчину (рис. 14). Під

шаром з'єднань нижче і відповідно до концентрації азоту твердість поступово знижується від поверхні до значень серцевини матеріалу 3,6–3,8 ГПа. Таким чином, проаналізувавши експериментальні дані, можна відмітити, що іонно-плазмове азотування при температурі 525 °С за 5 годин дає можливість отримати зміцнення поверхневого шару до 11,0 ГПа на глибину 0,35 мм, а газове азотування за 50 годин зміцнює поверхневий шар до 10,5 ГПа на глибину 0,3 мм.

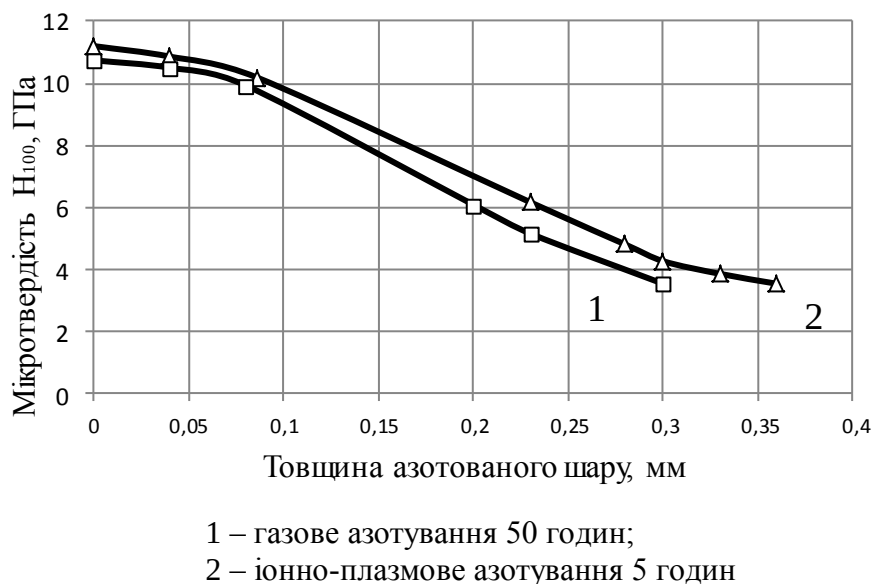


Рис. 14 – Розподіл мікротвердості дифузійних шарів в сталі 30Х3ВА залежно від способів азотування при температурі 525 °С

Вплив хіміко-термічної обробки на мікротвердість поверхневого шару легированої сталі. Мікротвердість визначалась за стандартною методикою при навантаженнях 30÷200 г. В експериментах враховувався темп наростання крихкого руйнування матеріалу.

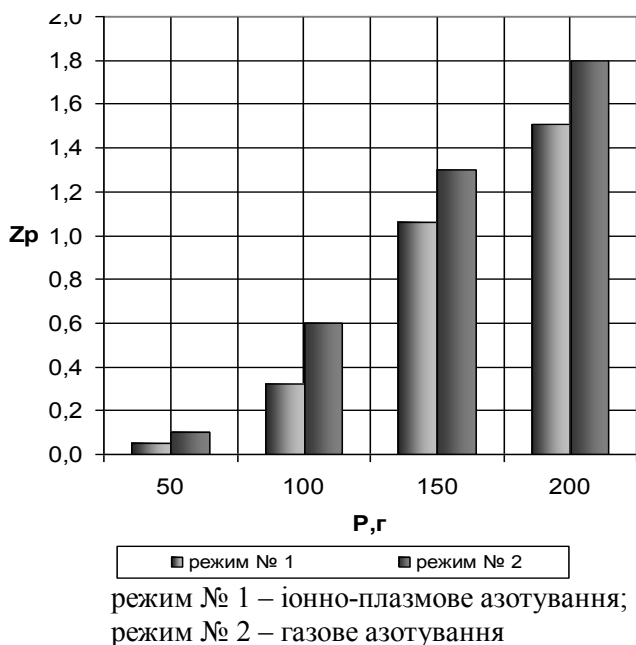


Рис. 15 – Графік залежності сумарного балу мікротвердості Z_p легированої сталі 30Х3ВА від навантаження P після азотування

Залежність сумарного балу крихкості Z_p від навантаження P після азотування показані на рис. 15. Результати вимірів мікротвердості після газового і іонно-плазмового азотування приведені на рис. 16–19.

Графіки показують, що наявність перехідної зони суттєво впливає на показники мікротвердості поверхневих шарів. Після азотування бал крихкості при наростанні темпу навантаження поступово збільшується від 0 балу при P=50 г до 1,5 балу після іонно-плазмового азотування та до 1,8 балів після газового азотування при P=200 г.

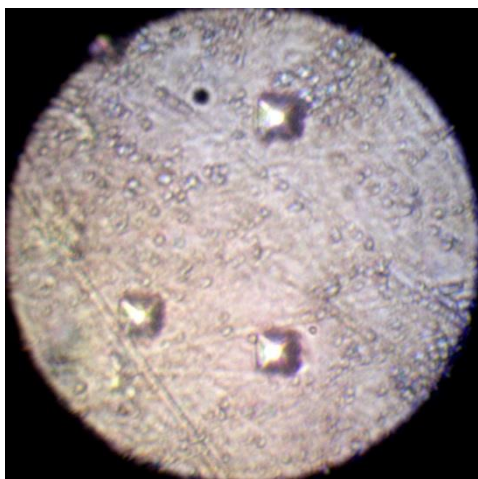


Рис. 16 – Мікротвердість азотованого шару сталі при $P=50$ г, $\times 500$

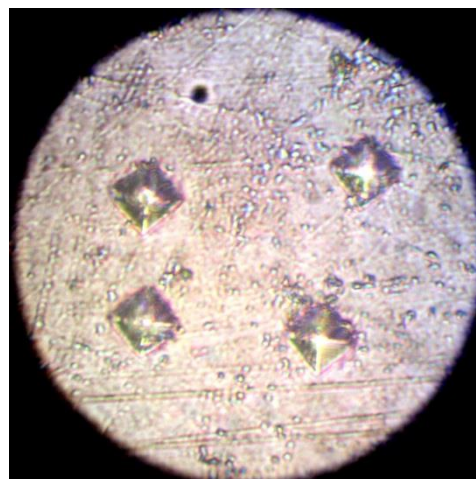


Рис. 17 – Мікротвердість азотованого шару сталі при $P=100$ г, $\times 500$

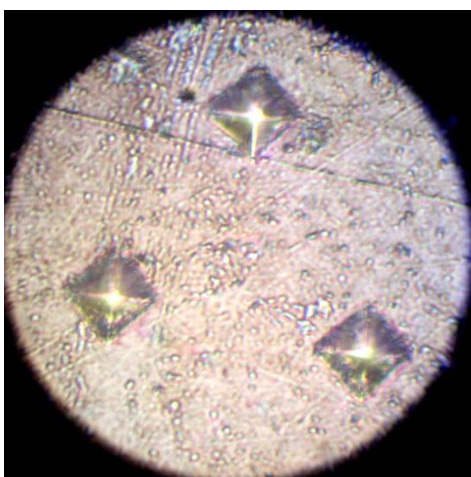


Рис. 18 – Мікротвердість азотованого шару сталі при $P=150$ г, $\times 500$

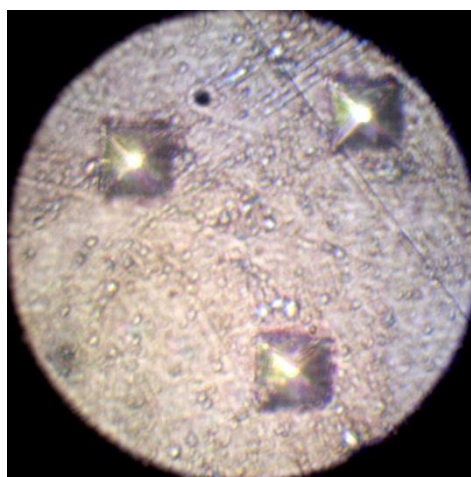


Рис. 19 – Мікротвердість азотованого шару сталі при $P=200$ г, $\times 500$

Висновки:

1. Попередня термічна обробка (поліпшення) перед азотуванням легованої сталі 30X3BA забезпечує твердість 36–38 HRC за рахунок формування перлітної структури з карбідами хрому та вольфраму.
2. Максимальна твердість поверхневого азотованого шару, що досягає 10,5–11,0 ГПа при температурі азотування 525 °С відповідає ϵ -фазі з нітридами заліза та легувальних елементів.
3. Газове азотування за 50 годин зміцнює поверхневий шар до 10,5 ГПа на глибину 0,3 мм з балом мікротвердості від 0 до 1,8 балів.
4. Іонно-плазмове азотування при температурі 525 °С за 5 годин дає можливість отримати зміцнення поверхневого шару до 11,0 ГПа на глибину 0,35 мм з балом мікротвердості від 0 до 1,5 балів.
5. В порівнянні з газовим азотуванням іонно-плазмове азотування забезпечує:

- скорочення тривалості обробки 5–10 разів, як за рахунок скорочення часу нагріву і охолодження садки, так і за рахунок зменшення часу ізотермічної витримки;
- зниження крихкості зміцненого шару;
- скорочення витрат робочих газів в 20–100 разів;
- скорочення витрат електроенергії в 1,5–3 разів;
- виключення операції депасивації;
- зниження деформації, що виключає фінішне шліфування;
- простоту й надійність екранного захисту від азотування незміцнюємих поверхонь;
- покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва.

Список літератури: 1. Герасимов С. А. Новые идеи о механизме образования структуры азотированных сталей [Текст] / С. А. Герасимов, А. В. Жихарев, Е. В. Березина // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2004. – № 1. 2. Крукович М. Г. Моделирование процесса азотирования [Текст] / М. Г. Крукович // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2004. – № 1. 3. Михальский Й. Формирование однофазного слоя γ' -нитрида при концентрируемом азотировании в газовой среде [Текст] / Й. Михальский, Й. Тасиковский, П. Вах // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 1. 4. Шлис Х.-Й. Контролируемое азотирование [Текст] / Х.-Й. Шлис, Х. Ле Тьен, Х. Бирманн // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2004. – № 7. – С. 7–11. 5. Baranowska J. Functional characteristics of nitride layers on austenitic steel produced by gas nitriding [Text] / Jolanta Baranowska // *Material Science*. – Lithuania, 2005. 11. – № 3. – С. 226–307. 6. Базалеева К. О. Механизмы влияния азота на структуру и свойства сталей [Текст] / К. О. Базалеева // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 10 (604). – С. 17–23. 7. Герасимов С. А. Газобарическое азотирование сталей [Текст] / С. А. Герасимов, В. А. Голиков, М. А. Пресс [и др.] // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2004. – № 6. – С. 7–9. 8. Михальски Й. Формирование однофазного слоя γ' -нитрида при контролируемом азотировании в газовой среде [Текст] / Й. Михальски, Й. Тасиковски, П. Вах [и др.] // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 11 (605). – С. 35–38. 9. Fossati A. Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment time [Text] / A. Fossati, F. Borgioli, E. Galvanetto [etc.] // *Surface and Coat. Technol.* – 2006. 200. – № 11. – С. 3511–3517. 10. Артемьев В. П. Ионное азотирование покрытий, нанесенных из жидкометаллического носителя [Текст] / В. П. Артемьев // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2004. – № 1. – С. 43–45. 11. Будилов В. В. Ионное азотирование в тлеющем разряде с эффектом полого катода [Текст] / В. В. Будилов, Р. Д. Агзамов, К. Н. Рамазанов // *Металло-ведение и термическая обработка металлов*. – 2007. – № 7 (625). – С. 33–36. 12. Короатев А. Д. Ионное азотирование феррито-перлитной и аустенитной сталей в газовых разрядах низкого давления [Текст] / А. Д. Короатев, С. В. Овчинников, А. Н. Тюменцев и др. // *Физика и химия обработки материалов*. – 2004. – № 1. – С. 22–27. 13. Борисов Д. П. Ионно-плазменное азотирование легированной стали с применением дугового плазмогенератора низкого давления [Текст] / Д. П. Борисов, В. В. Гончарова, В. М. Кузьмиченко и др. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2006. – № 12. – С. 11–15. 14. Куксенов Л. И. Влияние условий нагрева при азотировании на структуру и износостойкость поверхностных слоев на стали 38Х2МЮА [Текст] / Л. И. Куксенов, М. С. Мичугин // *Металлург*. 2008. № 2. С. 29 – 35. 15. Tsujikawa M. Behavior of carbon in low temperature plasma nitriding layer of austenitic stainless steel [Text] / M. Tsujikawa, N. Yamauchi, N. Ueda [etc.] // *Surface and Coat. Technol.* – 2005. 193. – № 1–3. – P. 309–313. 16. Oliveira Sandro D. Simultaneous plasma nitriding and ageing treatments of precipitation hardenable plastic mould steel [Text] / Sandro D. Oliveira, Andre P. Tschiptschin, Carlos E. Pinedo // *Mater. and Des.* – 2007. 28. – № 5. – P. 1714–1718. 17. M. Shah Shoaib. Langmuir probe characterization of nitrogen plasma for surface nitriding of AISI-4140 steel [Text] / M. Shah Shoaib, Saleem Murtaza, R. Ahmad [etc.] // *J. Mater. Process. Technol.* – 2008. 199. – № 1–3. – P. 363–368. 18. Liu Junyou. Nitridation of iron by the mixing technology with laser and plasma beams [Text] / Liu Junyou, Sun Fenqiu, Yu Hanjing // *Appl. Surface Sci.* – 2005. 252. – № 4. – P. 921–928.

Bibliography (transliterated): 1. Gerasimov S. A. (2004) Novyye idei o mehanizme obrazovaniya strukturyi azotirovannyih staley. – *J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 1. 2. Krukovich M. G. (2004)

Modelirovanie protsessa azotirovaniya. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 1. **3.** Mihalskiy Y., Tasikovskiy Y., Vah P. (2005) Formirovanie odnofaznogo sloya γ' -nitrida pri kontsentriruемом азотировании в газовой среде. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 1. **4.** Shpis H.-Y., H. Le Ten, Birman H. (2004) Kontroliruемое азотирование. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 7, 7–11. **5.** Baranowska J. (2005) Functional characteristics of nitride layers on austenitic steel produced by gas nitriding. Material Science, Lithuania, 3, 226–307. **6.** Bazaleeva K. O. (2005) Mehanizmy vliyaniya azota na strukturu i svoystva staley. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 10 (604), 17–23. **7.** Gerasimov S. A., Golikov V. A., Press M. A. (2004) Gazobaricheskoe азотирование staley. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 6, 7–9. **8.** Mihalski Y., Tasikovskiy Y., Vah P. (2005) Formirovanie odnofaznogo sloya γ' -nitrida pri kontroliruемом азотировании в газовой среде. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 11 (605), 35–38. **9.** Fossati A., Borgioli F., Galvanetto E. (2006) Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment. – Surface and Coat. Technol, 11, 3511–3517. **10.** Artemev V. P. (2004) Ionnoe азотирование pokryitiy, nanesennykh iz zhidkometallichesкого носителя. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 1, 43–45. **11.** Budilov V. V., Agzamov R. D., Ramazanov K. N. (2007) Ionnoe азотирование v tleyuschem razryade s effektivom pologo katoda. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 7 (625), 33–36. **12.** Koroatev A. D., Ovchinnikov S. V., Tyumentsev A. N. (2004) Ionnoe азотирование ferrito-perlitnoy i austenitnoy staley v gazovykh razryadah nizkogo davleniya. – J. Fizika i himiya obrabotki materialov, 1, 22–27. **13.** Borisov D. P., Goncharova V. V., Kuzmichenko V. M. (2006) Ionno-plazmennoe азотирование legirovannoy stali s primeneniem dugovogo plazmogeneratora nizkogo davleniya. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 12, 11–15. **14.** Kuksenov L. I., Michugin M. S. (2008) Vliyaniye usloviy nagreva pri азотировании na strukturu i iznosostoykost poverhnostnykh sloev na stali 38H2MYuA. – J. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 2, 29–35. **15.** Tsujikawa M., Yamauchi N., Ueda N. (2005) Behavior of carbon in low temperature plasma nitriding layer of austenitic stainless steel. – Surface and Coat. Technol, 1–3, 309–313. **16.** Oliveira Sandro D., Andre P. Tschiptschin, Carlos E. Pinedo. (2007) Simultaneous plasma nitriding and ageing treatments of precipitation hardenable plastic mould steel. – Mater. and Des, 5, 1714–1718. **17.** M. Shah Shoaib, Saleem Murtaza, R. Ahmad. (2008) Langmuir probe characterization of nitrogen plasma for surface nitriding of AISI-4140 steel. – J. Mater. Process. Technol, 1–3, 363–368. **18.** Liu Junyou, Sun Fenqiu, Yu Hanjin. (2005) Nitridation of iron by the mixing technology with laser and plasma beams. – Appl. Surface Sci, 4, 921–928.

Надійшла (received) 09.10.2014

УДК 629.735.03:621.43.031.3(045)

Ю. М. ТЕРЕЩЕНКО, д-р техн. наук, проф., Национальный авиационный университет, Киев;

Е. В. ДОРОШЕНКО, канд. техн. наук, доц., Национальный авиационный университет, Киев;

А. ТЕХРАНИ, аспирант, Национальный авиационный университет, Киев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА НА СРЫВНЫХ РЕЖИМАХ

В работе представлена методика расчета характеристик осевого компрессора на срывных режимах работы. Результаты расчета показали, что учет характеристик режимов записывания течения в межлопаточных каналах последних ступеней позволяет более точно рассчитать положение границы газодинамической устойчивости на характеристике многоступенчатого осевого компрессора. Расчетное значение границы газодинамической устойчивости сдвигается вправо - в сторону больших расходов воздуха. Изд.: 4. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: методика, характеристика, компрессор, записывание, течение, решетка, срыв, газодинамическая устойчивость, расчет, режим.

© Ю. М. ТЕРЕЩЕНКО, Е. В. ДОРОШЕНКО, А. ТЕХРАНИ 2014

Вступление. Формулировка проблемы. Одна из наиболее актуальных проблем в области проектирования и создания газотурбинных двигателей состоит в определении границы газодинамической устойчивости многоступенчатых осевых компрессоров. Наиболее достоверные характеристики многоступенчатых осевых компрессоров и их ступеней получают в результате физических экспериментов, однако такие исследования имеют высокую стоимость и не позволяют решать оптимизационные задачи при проектировании и создании газотурбинных двигателей. Расчетные методы, используемые в настоящее время, позволяют исследовать процессы в многоступенчатых осевых компрессорах и решать задачи оптимизации их параметров и характеристик.

Анализ литературных данных и постановка задачи исследования. Одним из наиболее сложных вопросов при решении задач расчета характеристик осевых многоступенчатых компрессоров является расчет границы газодинамической устойчивости их работы. В настоящее время при проектировании осевых компрессоров достаточно широко используются апробированные методы расчета параметров и характеристик ступеней осевого компрессора, основанные на использовании характеристик плоских компрессорных решеток [1-3]. В работе [4] рассмотрены вопросы работы компрессора на нерасчетных режимах и представлены характеристики осевых и центробежных компрессоров. Авторами рассмотрены вопросы устойчивой работы осевого многоступенчатого компрессора и влияние течения в отдельных ступенях на характеристики компрессора в целом. В статье [5] представлены результаты экспериментального исследования характеристик компрессора и проанализирована его работа на неустойчивых режимах. В работе [6] приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований работы компрессора на срывных режимах. Основным недостатком всех известных методов расчета характеристик многоступенчатых осевых компрессоров, основанных на использовании характеристик плоских компрессорных решеток, является недостаточно корректный учет влияния критических режимов течения в последних ступенях при отрицательных углах атаки на характеристики компрессора в целом. Одна из основных причин этого состоит в отсутствии обобщенных характеристик режимов заклинивания течения в компрессорных решетках. В то же время известно, что режимы «заклинивания» течения в последних ступенях многоступенчатого осевого компрессора оказывают существенное влияние на течение в первых ступенях и газодинамическую устойчивость компрессора в целом [7]. Поэтому задача создания методики расчета характеристик многоступенчатого осевого компрессора с учетом режимов «заклинивания» течения в межлопаточных каналах последних ступеней является актуальной.

Целью работы является разработка методики расчета характеристик многоступенчатого осевого компрессора с учетом режимов «заклинивания» течения в межлопаточных каналах последних ступеней.

Расчет характеристик осевого многоступенчатого компрессора с учетом режимов «заклинивания» течения в межлопаточных каналах. Основная особенность рассмотренной методики расчета характеристик осевого многоступенчатого компрессора состоит в том, что согласование режимов

течения в его ступенях осуществляется с учетом влияния режимов «запирания» последних ступеней на течение во всех предыдущих ступенях. Основой для реализации этой методики являются полученные авторами обобщенные характеристики режимов «запирания» течения в плоских компрессорных решетках [7, 8].

На рис. 1 показано изменение значений угла атаки в лопаточных венцах первой и последней ступенях многоступенчатого компрессора при изменении режима работы двигателя, полученное расчетным путем. Эти результаты хорошо согласуются с результатами экспериментальных и расчетных исследований, выполненных Л. Г. Бойко, О. Ф. Муравченко и М. А. Ковалевым [9].

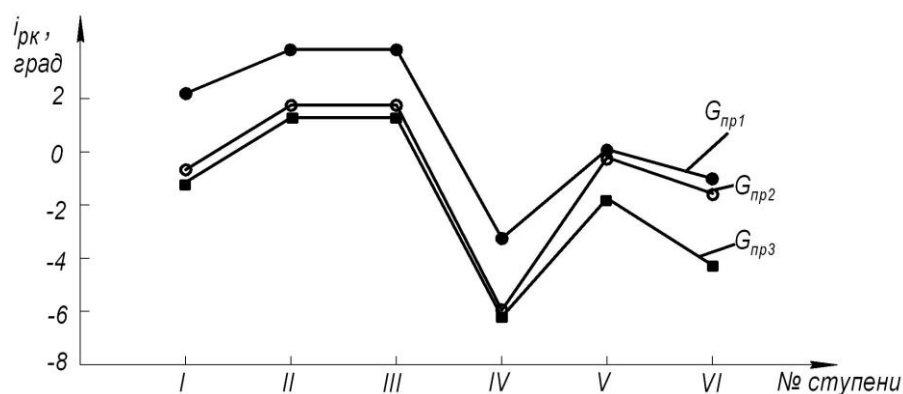


Рис. 1 – Изменение угла атаки на среднем радиусе в ступенях многоступенчатого компрессора по приведенной частоте вращения

Влияние модификации геометрических и аэродинамических параметров ступеней осевого компрессора и внешних факторов на параметры компрессора в целом можно определить расчетным путем с использованием материалов по влиянию этих факторов на характеристики изолированных ступеней.

Поэтому наряду с экспериментальными исследованиями целесообразно проведение расчетных исследований по влиянию разных факторов (конструктивных и внешних) на параметры многоступенчатых компрессоров. Задача расчетного исследования заключается в следующем.

Для осевого многоступенчатого компрессора, характеристики ступеней которого известны, определяется изменение углов атаки в зависимости от коэффициентов расхода во всех его ступенях, которое происходит под влиянием каких-либо внешних факторов или при дросселировании двигателя. На этой основе определяется изменение параметров каждой ступени для различных режимов и рассчитываются суммарные характеристики компрессора.

Общая задача решается применением метода расчета характеристик компрессора, основанного на суммировании характеристик его ступеней [2]. Уточнение этого метода состоит в том, что граница устойчивости многоступенчатого компрессора рассчитывается с учетом влияния пограничного слоя на течение в межлопаточных каналах последних ступеней, работающих при больших отрицательных углах атаки на режиме «запирания» течения. Метод расчета границы газодинамической устойчивости основан на методе расчета

характеристик многоступенчатого компрессора, использующий принцип сложения характеристики его ступеней. Во всех известных методиках граница срыва компрессора рассчитывалась без использования обобщенных характеристик режимов «запирания» течения в компрессорных решетках при больших отрицательных углах атаки. Вследствие «запирания» последних ступеней лопаточные венцы первых ступеней переходят на срывной режим обтекания, а рабочая линия на суммарной характеристике компрессора пересекает границу газодинамической устойчивости. Точка рабочего режима на измененной характеристике переходит в точку, где параметры соответствуют измененным параметрам компрессора. Вследствие изменения параметров течения в последней ступени изменяются параметры этой ступени на величины изменения напорности $\Delta \bar{H}_{\varphi i}$, изменения коэффициента полезного действия $\Delta \eta_{\varphi i}^*$, и коэффициента расхода $\bar{C}_{a\varphi i}$, которые рассчитываются по известным методикам [2-3]. Далее, последовательно рассчитываются параметры всех предыдущих ступеней, определяется изменение их напорности и КПД.

Таким образом, чтобы определить изменение характеристики компрессора, и уточнить расчетные значения параметров компрессора на границе устойчивости, необходимо задаться дополнительными условиями. Такими дополнительными условиями являются зависимости максимального числа $M_{\max}$ от угла атаки и коэффициента расхода для последних ступеней, соответствующих режиму «запирания» межлопаточных каналов. Эти зависимости представлены в виде обобщенных характеристик режимов «запирания» течения в компрессорных решетках при отрицательных углах атаки [7-8].

При расчетах характеристики компрессора по предложенной методике принимаются следующие предположения.

- Свойства каждого лопаточного венца с достаточной степенью приближения определяются геометрическими параметрами решеток профилей и кинематическими параметрами потока на среднем радиусе его входного сечения.

- Значение коэффициентов, которые характеризуют отдельные составляющие потерь давления, а также коэффициента, который определяет отклонение потока в венце, считаются независимыми от величины скорости перед венцом.

- Расход газа, который соответствует режиму «запирания» горла межлопаточных каналов (число $M_{\max}$) последних ступеней, определяется для решеток с различными геометрическими параметрами по моменту наступления в горле критического режима течения.

- При определении свойств лопаточного венца пренебрегают нестационарностью течения при переходе от неподвижных к подвижным венцам.

Характеристики ступеней рассчитываются по методу [2-3], в котором используются обобщенные характеристики компрессорных решеток. Этот метод базируется на одномерном расчете по среднему диаметру и обобщенных экспериментальных характеристик компрессорных решеток, полученных Хауэллом. Граница газодинамической устойчивости определяется по значению приведенного расхода воздуха, при котором угол атаки одной из ступеней соответствует 8° .

Как показали расчеты характеристик многоступенчатых компрессоров по методике [2] с $\pi_{кр}=10,7$ и $\pi_{кр}=7$ определение границы устойчивой работы по критическим углам атаки в лопаточных венцах первых ступеней недостаточно корректно, так как режимы «запирания» последних ступеней при фиксированных частотах вращения наступает раньше, чем критические режимы течения в первых ступенях на величину ΔG (рис.2, 3).

Ниже приведены результаты расчета режимов «запирания» характеристик многоступенчатого осевого компрессора. Результаты математического моделирования осевого компрессора показали, что при учете режимов «запирания» с учетом перераспределения течения в межлопаточных каналах граница «запирания» последних ступеней сдвигается влево. При этом коэффициент расхода $\bar{c}_{az}$ последних ступеней увеличивается, а коэффициент расхода $\bar{c}_{a1}$ снижается, что приводит к возникновению критического режима течения в первых ступенях компрессора.

При постоянной приведенной частоте вращения компрессора $n_{np} = \text{const}$ уменьшение температуры газа перед турбиной (T_G^*) приведет к снижению π_K^* и увеличению значений коэффициента расхода $\bar{c}_{az}$ на последних ступенях и наступлению режима «запирания» при $\bar{c}_{az} = \bar{c}_{az\text{max}}$. Дальнейшее уменьшение T_G^* происходит при $\bar{c}_{az} = \text{const}$, что приводит к существенному снижению коэффициента расхода $\bar{c}_{a1}$ на первых ступенях и при $\bar{c}_{a1} \leq \bar{c}_{a1кр}$ (когда значение угла атаки на первой ступени больше критического $i_1 > i_{1кр}$) наступает срывной режим течения в первых ступенях. Поэтому граница срыва компрессора, которая определяется по параметрам воздуха на входе в компрессор - $q(\lambda)$ сдвигается вправо, то есть реальный запас газодинамической устойчивости последних ступеней меньше, чем рассчитанный без учета запирания течения в последних ступенях.

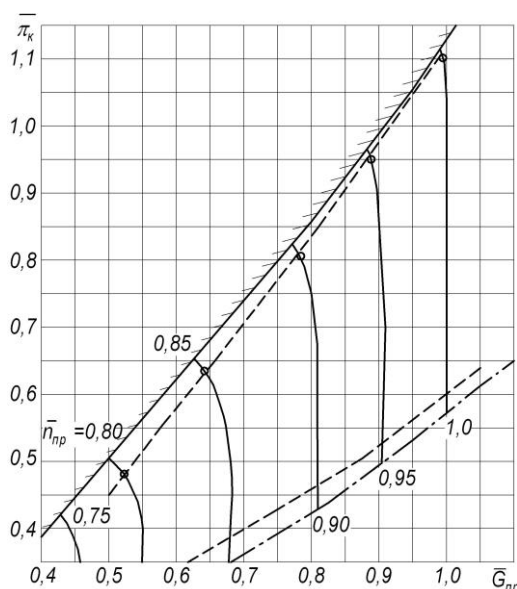


Рис. 2 – Расчетные характеристики режима «запирания» последних ступеней многоступенчатого осевого компрессора с $\pi_{кр}=10,7$

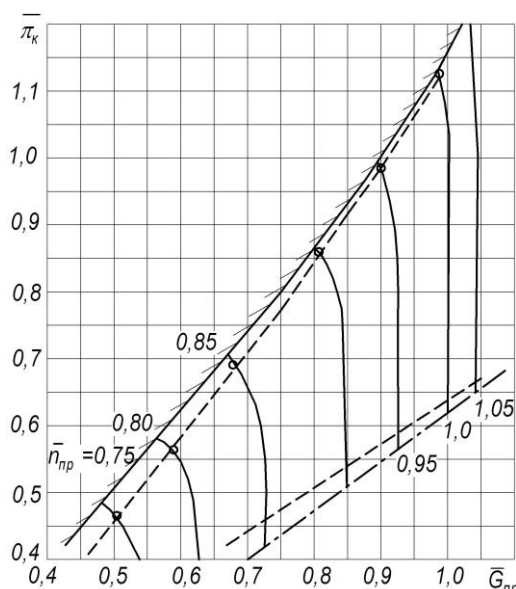


Рис. 3 – Расчетные характеристики режима «запирания» последних ступеней многоступенчатого осевого компрессора с $\pi_{кр}=7$

На рис. 4 показаны зависимости углов атаки от расхода на разных частотах для первой ступени и последней ступени многоступенчатого осевого компрессора ($\pi_K^*=3,4$; $z=4$).

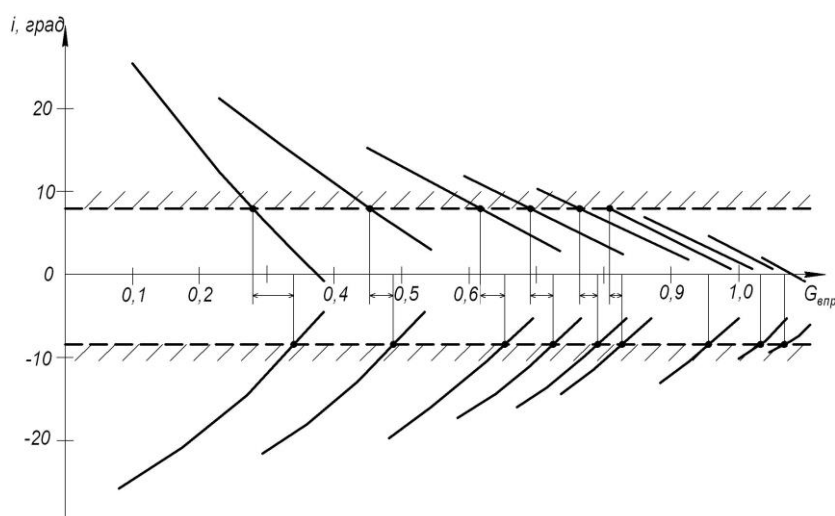


Рис. 4 – Зависимости углов атаки от расхода на разных частотах для первой ступени и последней ступени многоступенчатого осевого компрессора ($\pi_K^*=3,4$; $z=4$)

Как показали результаты расчетного исследования, заклинивание течения в последних ступенях компрессора приводит к сдвигу расчетного значения границы газодинамической устойчивости вправо (в сторону больших расходов воздуха). Это объясняется тем, что при определении границы газодинамической устойчивости по известным методикам учитывается изменение кинематических и термодинамических параметров воздуха в проточной части компрессора, которое приводит к сверхкритическим (по углу атаки) режимам течения в первых ступенях. Это, как известно, приводит к возникновению вращающегося срыва и помпажа. В газотурбинном двигателе изменение термогазодинамических параметров при дросселировании двигателя происходит на порядок быстрее, чем изменение кинематических параметров ротора (частоты вращения). Поэтому рабочая точка перемещается по напорной линии к границе заклинивания по расходу воздуха (практически при постоянной приведенной частоте вращения). Поэтому вследствие заклинивания течения последних ступеней инициируется срыв потока на первых ступенях. Во всех известных методиках расчет газодинамической устойчивости производится без учета процессов, протекающих при заклинивании течения в последних ступенях. Как показали результаты исследования [7, 8] на возникновение режимов заклинивания течения существенное влияние оказывают геометрические параметры решеток (густота, углы установки) и параметры аэродинамических профилей (углы изгиба средней линии, относительная толщина профиля и относительное расположение точки максимальной толщины по хорде профиля). Учет этих особенностей при расчете газодинамической устойчивости по известным методикам [9, 1-3] с учетом характеристик режимов заклинивания течения, приведенных в [7, 8] позволяет более точно определять положение газодинамической устойчивости в поле характеристик осевого многоступенчатого компрессора, используя предложенную методику.

Выводы: 1. «Заклинивание» течения в последних ступенях осевого компрессора приводит к существенному изменению запасов газодинамической устойчивости многоступенчатого осевого компрессора.

2. Использование обобщенных характеристик режимов запираания течения в межлопаточных каналах позволяет более точно определять расчетным путем границу «запираания» многоступенчатого компрессора с использованием аэродинамических характеристик плоских компрессорных решеток.

Список литературы: 1. *Терещенко, Ю. М.* Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров [Текст] / Ю. М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 168 с. 2. *Холщевников, К. В.* Теория и расчет авиационных лопаточных машин [Текст] / К. В. Холщевников. – М.: Машиностроение, 1970. – 610с. 3. *Chen, N.* Aerothermodynamics of turbomachinery: analysis and design [Text] / N. Chen. – Singapore: John Wiley & Sons Pte Ltd, 2010. – 461 p. 4. *Gravdahl, J. T.* Compressor Surge and Rotating Stall: Modeling and Control [Text] / J. T. Gravdahl, O. Egeland. – London: Springer, 2011. – 225 p. 5. *Day, I. J.* Axial compressor performance during surge [Text] / I. J. Day // Journal of Propulsion and Power. – 1994. Vol. 10, No. 3. – P. 329–336. doi: 10.2514/3.23760. 6. *Hara, T.* Unsteady flow field under surge and rotating stall in a three-stage axial flow compressor [Text] / T. Hara, D. Morita, Y. Ohta, E. Ota // Journal of Thermal Science. – 2011. – Vol. 20, Issue 1. – P. 6–12. doi: 10.1007/s11630–011–0427–z. 7. *Abe, T.* Coexisting phenomena of surge and rotating stall in an axial flow compressor [Text] / T. Abe, H. Mitsui, Y. Ohta // Journal of Thermal Science. – 2013. – V. 22, Issue 6. – P. 547–554. doi: 10.1007/s11630–013–0661–7. 8. *Ohta, Y.* Unsteady behavior of surge and rotating stall in an axial flow compressor [Text] / Y. Ohta, Y. Fujita, D. Morita // Journal of Thermal Science. – 2012. – Vol. 21, Issue 4. – P. 302–310. doi: 10.1007/s11630–012–0548–z. 9. *Дорошенко, Е. В.* Методика расчета критических режимов течения в решетках аэродинамических профилей [Текст] / Е. В. Дорошенко, Ю. Ю. Терещенко, А. Техрани // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2014. № 40 (1083). – С. 66–71. 10. *Терещенко, Ю. М.* Влияние густоты решетки аэродинамических профилей на режимы «запираания» течения в межлопаточных каналах [Текст] / Ю. М. Терещенко, Е. В. Дорошенко, А. Техрани // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 4, № 7 (703). – Р. 30–33. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26067. 11. *Бойко, Л. Г.* Метод расчета до- и трансзвуковых течений в осевых компрессорах и результаты его апробации [Текст] / Бойко Л. Г., Ковалев М. А. // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Тр. Международной научно-технической конференции. – Харьков, Институт проблем машиностроения НАН Украины, 29 сентября – 2 октября 1997г. – С.231–234.

Bibliography (transliterated): 1. *Tereschenko, Yu. M.* (1987). Ajerodinamicheskoe sovershenstvovanie lopatochnyh apparatov kompressorov. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 168. 2. *Holshhevnikov, K. V.* (1970). Teorija i raschet aviaicionnyh lopatochnyh mashin. Moscow, USSR: Mashinostroenie, 610. 3. *Chen, N.* (2010) Aerothermodynamics of turbomachinery: analysis and design. Singapore, John Wiley & Sons Pte Ltd, 461. 4. *Gravdahl, J. T, Egeland O.* (2011) Compressor Surge and Rotating Stall: Modeling and Control. London: Springer, 2011. – 225 p. 5. *Day, I. J.* (1994) Axial compressor performance during surge. Journal of Propulsion and Power, 10 (3), 329–336. doi: 10.2514/3.23760. 6. *Hara, T., Morita, D., Ohta, Y., Ota, E.* (2011). Unsteady flow field under surge and rotating stall in a three-stage axial flow compressor. Journal of Thermal Science, 20 (1), 6–12. doi: 10.1007/s11630–011–0427–z. 7. *Abe, T., Mitsui, H., Ohta, Y.* (2013). Coexisting phenomena of surge and rotating stall in an axial flow compressor. Journal of Thermal Science, 22 (6), 547–554. doi: 10.1007/s11630–013–0661–7. 8. *Ohta, Y., Fujita, Y., Morita, D.* (2012). Unsteady behavior of surge and rotating stall in an axial flow compressor. Journal of Thermal Science, 21 (4), 302–310. doi: 10.1007/s11630–012–0548–z. 9. *Doroshenko, E. V., Tereschenko, Yu. Yu., Tehrani A.* (2014). Metodika rascheta kriticheskikh rezhimov techenija v reshetkah ajerodinamicheskikh profilej. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI», 40 (1083), 66–71. 10. *Tereschenko, Yu. M., Doroshenko, K. V., Tehrani, A.* (2014). Vlijanie gustoty reshetki ajerodinamicheskikh profilej na rezhimy «zapiranija» techenija v mezhlopatochnyh kanalah. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4, № 12 (63), 30–33. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26067. 11. *Bojko, L. G., Kovalev M. A.* (1997). Metod rascheta do- i transzvukovyh techenij v osevyh kompressorah i rezul'taty ego aprobacii. Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovanija: Tr. Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, 231–234.

Надійшла (received) 09.10.2014

И. Ф. ЧЕРВОНЫЙ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., Запорожская государственная инженерная академия;

Е. А. ГОЛЕВ, магистрант, Запорожская государственная инженерная академия

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО

Рассмотрены приемы оптимизации теплового узла для выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского. Для создания заданных тепловых условий выращивания монокристаллов в конструкцию теплового узла вводятся дополнительные теплоизолирующие экраны и специальный верхний конусный экран. Совместное действие системы дополнительных экранов и расположение теплового узла позволило снизить непроизводительные потери тепла, в результате чего потребляемая нагревателем мощность снизилась на 33 %.

Ключевые слова: кремний, тепловой узел, экран, метод Чохральского, тепло, мощность, тигель, скорость, расплав, градиент.

Введение. Производство полупроводниковых приборов в настоящее время основано на применении монокристаллического кремния и выдвигает требования по постоянному совершенствованию технологических приемов их выращивания. При выращивании монокристаллов фронт кристаллизации должен быть наиболее холодным местом в области расплава. Это приводит к необходимости отвода теплоты кристаллизации. При этом регулирование теплоотвода через кристалл или расплав при выращивании является методом управления формой монокристалла. Увеличение диаметра монокристалла достигают снижением температуры расплава или уменьшением скорости выращивания; уменьшения диаметра монокристалла – повышением температуры расплава или скорости выращивания [1-3].

При увеличении температуры расплава или скорости выращивания кристалл в течение определенного отрезка времени кристалл растет в виде конуса, вершина которого направлена в расплав. Через какое-то время кристалл вновь приобретает цилиндрическую форму, но его диаметр уже будет меньше. Время, в течение которого после внесения возмущения процесс выращивания становится квазистационарным, зависит от типа экранировки, конструкции нагревателя, массы расплава, соотношения диаметров кристалла и расплава и т. д.

Анализ литературных данных. Качество выращиваемых монокристаллов в значительной мере определяется характером тепловых и гидродинамических потоков в расплаве. Как правило, выращивание монокристаллов по методу Чохральского на современных установках осуществляется при вертикальном перемещении тигля с расплавом в тепловом узле со скоростью, компенсирующей понижение уровня расплава в процессе выращивания. В процессе выращивания монокристалла градиент температуры, как в кристалле, так и в расплаве не остаются постоянными вследствие изменения тепловых условий, связанных с

уменьшением объема расплава в тигле и увеличением массы и поверхности растущего монокристалла, через которую отводится тепло. Изменение осевых и радиальных градиентов в расплаве может привести к изменению мениска и связанных с ним высоты и формы столбика расплава в подкристалльной области и, как следствие, к изменению фронта кристаллизации в течение процесса выращивания.

Исследованию влияния градиента температуры на условия выращивания монокристаллов кремния рассматривалось в работе [4, 5], в которой для обеспечения оптимального температурного градиента в выращиваемом монокристалле исследовалось влияние цилиндрического экрана, расположенного вертикально вдоль оси монокристалла. В работе [6, 7] приведены результаты опробования сложной закрытой экранировки для создания заданного профиля температуры вдоль оси монокристалла и обеспечения характеристик структурного совершенства монокристалла. Однако применение сложной закрытой экранировки значительно усложняет конструкцию теплового узла и создает возможность дополнительного загрязнения расплава и выращиваемого монокристалла неконтролируемыми примесями.

Анализ литературных данных характеризует интенсивный поиск конструктивных решений теплового узла процесса выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского, но выполненные авторами эксперименты не обеспечили возможность создания оптимальной конструкции экранировки в комплексе с нагревателем для процесса выращивания монокристаллов с заданными характеристиками.

Цель и задачи исследования. Целью проведения настоящих исследований было разработка комплексного теплового узла для выращивания монокристаллов кремния.

Задачами исследования, решение которых представляется необходимым для достижения этой цели, были выбраны: усовершенствование конструкции боковой экранировки нагревателя для значительного снижения тепловых потерь за счет радиационного излучения; анализ и оптимизация конструкции верхней части экранировки нагревателя с обеспечением двойственности задачи – экранирование теплового потока от нагревателя и расплава и создания эффекта дополнительного нагрева определенного участка выращиваемого монокристалла; модернизация донной экранировки теплового узла с целью снижения потерь тепла от донной части тигля с расплавом.

Анализ и усовершенствование теплового узла. Как уже отмечалось, при увеличении скорости выращивания или температуры расплава радиус растущего кристалла будет уменьшаться при прочих равных условиях роста). Высота и форма столбика расплава при этом изменяются, столбик расплава становится выше, а силы поверхностного натяжения сжимают его. При уменьшении скорости выращивания и температуры расплава радиус кристалла увеличивается, и высота столбика расплава уменьшается. При больших скоростях выращивания фронт кристаллизации вогнутый в сторону затравки, при уменьшении скорости выращивания величина прогиба уменьшается, и при малых скоростях фронт становится выпуклым.

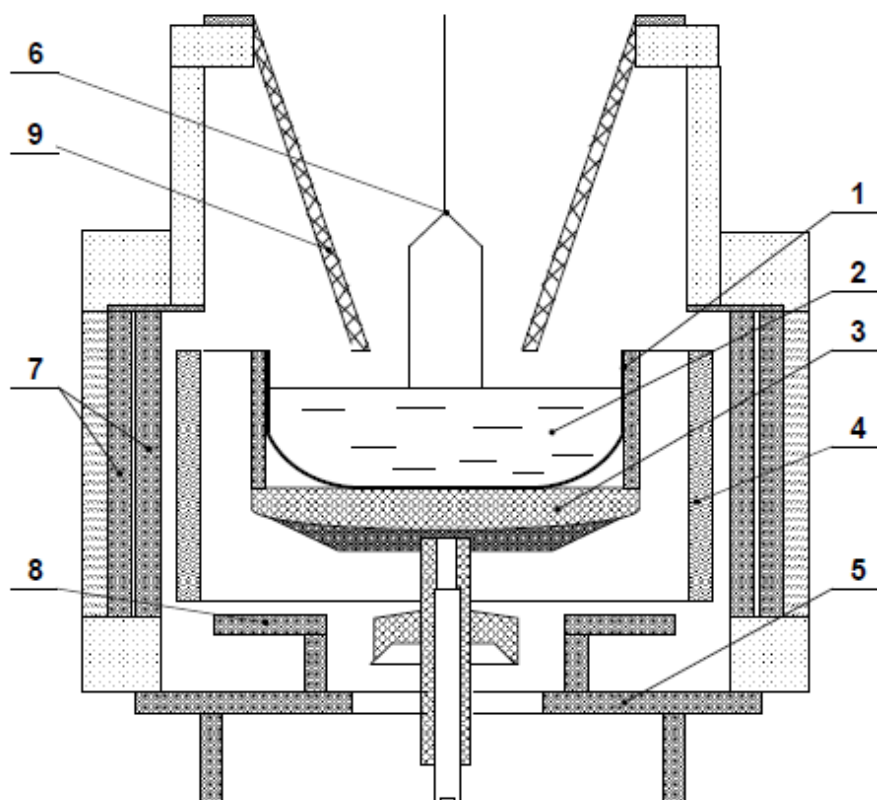
Тепловой узел включает в себя подставку для тигля, нагреватель, систему экранов (см. рис. 1). Конструкция теплового узла практически во многом определяет особенности кристаллизации, макро- и микроструктуру выращиваемого монокристалла, распределение в нем легирующих примесей. Тепловой узел как технологическая система содержит взаимозависимые элементы, т.е. варьируя Конструкцию нескольких элементов, можно получать практически идентичные условия выращивания монокристаллов.

Экранировка – это система тепловых экранов и элементов, которые активно влияют на градиенты температуры в расплаве и растущем кристалле. Экранировка выполняет две функции: с одной стороны, существенно уменьшает потери теплоты, с другой – обеспечивает создание заданных температурных градиентов в зоне роста кристалла и расплаве с целью получения заданных свойств выращиваемых монокристаллов. Все системы применяемых экранировок условно подразделяются на два типа: открытые и закрытые [1]. При выращивании монокристаллов с открытой экранировкой в зоне кристаллизации создаются более высокие температурные градиенты, чем при выращивании в закрытой системе. Выбор экранировки и ее особенности диктуются зависимостью качества получаемых монокристаллов от условий выращивания.

Боковая экранировка, как правило, состоит из первого, ближнего к нагревателю, графитового экрана, за которым располагаются еще два или три графитовых или молибденовых экрана. Ранее для этих целей использовали экраны из спеченного кварца. В последние годы, в связи с разработкой новых видов высокотемпературных материалов на основе графита, используется следующая экранировка. На первый экран наматываются несколько слоев углеграфитовой ткани или войлока, обладающих высокими теплоизоляционными свойствами. Донная часть экранировки состоит из нескольких графитовых экранов, на которых располагается углеграфитовый войлок, который в случае пролива расплава кремния защищает от повреждения поддон камеры печи. На верхнем торце бокового экрана располагают в случае необходимости плоский (или другой формы) потолочный экран (закрытая экранировка).

В установках с резистивным нагревом используют два основных типа нагревателей различной модификации: с боковым и донно-боковым нагревом. Это приводит к созданию различных по форме изотерм в выращиваемом монокристалле и потоков тепла в расплаве и зависит от конструктивных особенностей нагревателя [1, 8, 9].

Для оптимизации тепловых условий выращивания нами введены конструктивные дополнения в действующий нагреватель для снижения потерь теплоты в тепловом узле установки выращивания монокристаллов и к предотвращению паразитарной кристаллизации на стенках тигля. Для этого введены дополнительные экраны, которые являются системой теплоизолирующих экранов (рис. 7), изготовленных из теплостойкого композитного материала из пирографитового поверхностного покрытия, который уменьшает потери теплоты через стенки плавильной камеры и возвращают часть аккумулированной теплоты к тиглю с расплавом кремния.



1 – кварцевый тигель; 2 – расплав кремния; 3 – графитовая подставка под тигель; 4 – графитовый резистивный нагреватель; 5 – система графитовых теплоизолирующих экранов; 6 – монокристаллическая затравка; 7 – двойной экран цилиндрической формы; 8 – горизонтальный экран; 9 – верхний экран конической формы

Рис. 1 – Схема теплового узла установки выращивания монокристаллов методом Чохральского

Двойной экран цилиндрической формы (7) аккумулирует теплоту, излучаемую нагревателем в направлении боковой поверхности плавильной камеры, которая способствует увеличению части теплового потока, которая поступает от нагревателя к тиглю с расплавом кремния; горизонтальный экран (8), который расположен между нижней кромкой нагревателя и поддоном камеры, снижает потери теплоты через дно камеры и увеличивает часть теплового потока, что поступает ко дну тигля. Верхний экран конической формы (9) уменьшает потери теплоты через потолок плавильной камеры; внешние стенки конуса (9) излучают часть поглощенной теплоты в направлении стенок тигля; внутренние стенки конуса излучают тепло в направлении выращиваемого монокристалла, чем способствуют повышению температуры его поверхности и уменьшению осевого радиального температурного градиента, который предотвращает образование в монокристалле значительных внутренних напряжений и деформаций кристаллических решеток, что, в свою очередь, предотвращает образование микро- и макротрещин и структурных дефектов. Подобные зависимости установлены также в работах [10, 11] при исследовании условий выращивания монокристаллов арсенида галлия [10] и при моделировании геометрии теплового узла для выращивания монокристаллов германия [11].

Общее действие двойного (7) и конического (9) теплоизолирующих экранов обуславливает локальное повышение температуры стенок кварцевого тигля и предотвращает паразитарную кристаллизацию на стенках тигля, что позволяет повысить скорость выращивания монокристаллов без потери его структурного совершенства. Весь тепловой узел с описанным выше дополнительным устройством, монтируется на 150 мм ниже, чем в стандартном процессе, при этом расстояние между нижней кромкой нагревателя и поддоном плавильной камеры составляет не больше 250 мм. Общее действие всех трех дополнительных экранов (7), (8), (9) и установленное расположение теплового узла в нижней позиции уменьшают непроизводительные расходы тепла, позволяет уменьшить потребление электрической мощности на процесс выращивания монокристаллов.

Экспериментальные процессы выращивания монокристаллов кремния диаметром 135 мм производились в установки типа «Редмет-30». Использовались стандартный тепловой узел и модернизированный с применением дополнительных боковых и донных экранов. Модернизированный тепловой узел содержал три дополнительных теплоизолирующих экрана, изготовленных из композитного материала на основе углерода с пирографитовым покрытием: двойной экран цилиндрической формы, нижний горизонтальный экран и верхний экран конической формы. Результаты опытных процессов выращивания приведены в табл. 1

Таблица 1 – Сравнительные характеристики процессов выращивания монокристаллов кремния

Показатель	Стандартный вариант нагревателя	Оптимизированный вариант нагревателя
Средняя скорость выращивания монокристалла, мм / мин	0,9	1,3
Потребляемая электрическая мощность нагревателя, %	100	67
Расход электроэнергии, %	100	57
Длительность процесса выращивания, час	35	30
Производительность установки выращивания монокристаллов, %	100	134
Выход монокристалла, %	78	87

Как показывает анализ, при использовании оптимизированного теплового узла удалось достигнуть повышения скорости выращивания монокристалла на 45 %. Электрическая мощность, потребляемая нагревателем установки, уменьшилась на 33 %, а длительность процесса выращивания монокристалла сократилась на 5 час, при снижении на 43 % затрат электроэнергии на процесс выращивания.

Выводы. Предложен оптимизированный тепловой узел установки для выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского с введением дополнительных теплоизолирующих экранов и изменения расположения

основных элементов теплового узла в камере выращивания. Совместное действие системы дополнительных экранов и расположение теплового узла в самом низком возможном положении позволило снизить непроизводительные потери тепла, в результате чего потребляемая нагревателем мощность снизилась на 33 %. Воздействие дополнительного теплоизолирующего экрана конической формы привело к оптимизации распределения температуры на поверхности расплава кремния как вблизи фронта кристаллизации, так и у стенок тигля, а также в выращиваемом монокристалле. Это позволило увеличить скорость выращивания монокристалла на 44 % и производительность процесса выращивания на 34 %.

Список литературы: 1. Фалькевич, Э. С. Технология полупроводникового кремния [Текст] / Э. С. Фалькевич, Э. О. Пульнер, И. Ф. Червоний, Л. Я. Шварцман, В. Н. Ярким, И. В. Салли, Э. О. Пульнер. – М.: Металлургия, 1992. – 408 с. 2. Okano, Y. Numerical simulation of oscillatory flow in melt during insb single crystal growth by rf heating Czochralski method [Electronic resource] / Y. Okano, N. Audet, S. Dost, Y. Hayakawa, M. Kumagawa // Available at: <http://booksc.org/book/94803>. 3. Scheel, H. J. Optimum convection conditions for Czochralski growth of semiconductors [Electronic resource] / H. J. Scheel, J. T. Sielawa // Available at: http://hans-scheel.ch/pdf/Pub_040.pdf. 4. Patent US5683505 United States Patent, Int. Cl.⁶ C30B 15/20, Process for producing single crystals [Text] / Kuramochi K., Okamoto S. – Assignee: Sumitomo Sitix Corporation, Amagasaki, Japan. – Appl. No.: 607,401 ; Filed: Feb. 27, 1996 ; Date of Patent: Nov. 4, 1997. – 13 p. – Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US5683505>. 5. Wolfram, M. Numerical simulation of bulk crystal growth on different scales: silicon and GeSi [Text] / M. Wolfram // Phys. Status Solidi B. – 2010. – Vol. 247, Issue 4. – P. 885–869. – Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pssb.200945541/abstract>. 6. Patent US5667584 United States Patent, Int. Cl.⁶ C30B 15/20, Method for the preparation of a single crystal of silicon with decreased crystal defects [Текст] / Takano K., Iino E., Sakurada M., Yamagishi H. – Assignee: Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.. Tokyo, Japan. – Appl. No.: 565,100; Filed: Nov. 30, 1995; Date of Patent: Sep. 16, 1997. – 8 p. – Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US5667584>. 7. Huaxiong, H. Thermal stress reduction for a Czochralski grown single crystal [Electronic resource] / H. Huaxiong, L. Shuqing // Available at: <http://www.math.yorku.ca/Who/Faculty/hhuang/papers/opt-jem-final.pdf>. 8. Головкин, О. П. Энергосберегающий тепловой узел установки для выращивания монокристаллов кремния [Текст] / О. П. Головкин, А. С. Голев, А. Б. Комаров, И. Ф. Червоний, Е. Я. Швеи, Р. Н. Воляр // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 6. – С. 90–93. 9. Ковтун, Г. П. Технологические приемы улучшения теплового режима выращивания кристаллов GaAs методом Чохральского [Текст] / Г. П. Ковтун, А. И. Кравченко, А. И. Кондрик, А. П. Щербань // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 6. – С. 3–6. 10. Оксанич, А. П. Виртуальный датчик для мониторинга температуры фонового нагревателя в тепловом узле установки для выращивания монокристаллов арсенида галлия [Электронная версия] / А. П. Оксанич, И. В. Шевченко, Ю. А. Краснопольская / Режим доступа: [http://open-archive.kture.kharkov.ua/bitstream/123456789/876/1/ASU_156_2011%20\(16-26\).pdf](http://open-archive.kture.kharkov.ua/bitstream/123456789/876/1/ASU_156_2011%20(16-26).pdf). 15.09.2014. 11. Оксанич, А. П. Математическое моделирование геометрии теплового узла и разработка экспериментальной установки для выращивания слитков германия диаметром 100 мм методом Чохральского [Текст] / А. П. Оксанич, В. В. Малеванный // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2012. – Вип. 6 (77). – С. 11–16.

Bibliography (transliterated): 1. Fal'kevich, Je. S., Pul'ner, Je. O., Chervony, I. F., Shvarcman, L. Ja., Jarkim, V. N., Salli, I. V., Pul'ner, Je. O. (1992). Tehnologija poluprovodnikovogo kremnija. Moscow: Metallurgija, 408. 2. Okano, Y., Audet, N., Dost, S., Hayakawa, Y., Kumagawa, M. Numerical simulation of oscillatory flow in melt during insb single crystal growth by rf heating Czochralski method. Available at: <http://booksc.org/book/94803>. 3. Scheel, H. J., Sielawa, J. T. Optimum convection conditions for Czochralski growth of semiconductors. Available at: http://hans-scheel.ch/pdf/Pub_040.pdf. 4. Kuramochi, K., Okamoto, S. (1997). Patent US5683505 United States Patent, Int. Cl.⁶ C30B 15/20, Process for producing single crystals. Assignee: Sumitomo Sitix Corporation, Amagasaki, Japan. Appl. No.: 607,401 ; Filed: Feb. 27, 1996 ; Date of Patent: Nov. 4,

13. Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US5683505>. **5. Wolfram, M.** (2010). Numerical simulation of bulk crystal growth on different scales: silicon and GeSi. *Phys. Status Solidi B*, 247 (4), 885–869. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pssb.200945541/abstract>. **6. Takano, K., Iino, E., Sakurada, M., Yamagishi, H.** (1997). Patent US5667584 United States Patent, Int. Cl.⁶ C30B 15/20, Method for the preparation of a single crystal of silicon with decreased crystal defects. Assignee: Shin-Etsu Handotai Co., Ltd., Tokyo, Japan. Appl. No.: 565,100; Filed: Nov. 30, 1995; Date of Patent, 8. Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US5667584>. **7. Huaxiong, H., Shuqing, L.** Thermal stress reduction for a Czochralski grown single crystal. Available at: <http://www.math.yorku.ca/Who/Faculty/hhuang/papers/opt-jem-final.pdf>. **8. Golovko, O. P., Golev, A. C., Komarov, A. B., Chervony, I. F., Shvec, E. Ja., Voljar, R. H.** (2016). Jenergosberegajushhij teplovoj uzle ustanovki dlja vyrashhivaniya monokristallov kremnija. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*, 6, 90–93. **9. Kovtun, G. P., Kravchenko, A. I., Kondrik, A. I., Shherban', A. P.** (2004). Tehnologicheskie priemy uluchsheniya teplovogo rezhima vyrashhivaniya kristallov GaAs metodom Chohral'skogo. *Tehnologija i konstruirovanie v jelektronnoj apparature*, 6, 3–6. **10. Oksanich, A. P., Shevchenko, I. V., Krasnopol'skaja, Ju. A.** *Virtual'nyj datchik dlja monitoringa temperatury fonovogo nagrevatelja v teplovom uzle ustanovki dlja vyrashhivaniya monokristallov arsenida gallija.* Available at: [http://open-archive.kture.kharkov.ua/bitstream/123456789/876/1/ASU_156_2011%20\(16-26\).pdf](http://open-archive.kture.kharkov.ua/bitstream/123456789/876/1/ASU_156_2011%20(16-26).pdf). 15.09.2014. **11. Oksanich, A. P., Malevannyj, V. V.** (2012). Matematicheskoe modelirovanie geometrii teplovogo uzla i razrabotka jeksperimental'noj ustanovki dlja vyrashhivaniya slitkov germanija diametrom 100 mm metodom Chohral'skogo. *Visnik KrNU imeni Mihajla Ostrograds'kogo*, 6 (77), 11–16.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 004.738.52:004.031

В. И. САЕНКО, канд. техн. наук, проф., Харьковский национальный университет радиоэлектроники;

А. И. ГРИЦЕНКО, аспирант, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ НАБЛЮДАЕМЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Рассматриваются вопросы теории, методологии и практики мониторинга компьютерных сетей. Акцент сделан на описании характеристик наблюдаемых процессов, обобщаемых в виде информационных моделей. В основе работы лежит идея априорной определенности наблюдаемых процессов, для которых можно сформировать значения некоторых характеристик практически без проведения измерений. В рамках технологии WMI рассмотрен пример оценивания разработанных информационных моделей. Табл.: 3. Изд.: 4. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: компьютерная сеть, мониторинг, WMI, CIM, аппроксимация, случайный процесс, информационная модель

Введение. Процесс мониторинга компьютерных сетей неизбежно связан с накоплением данных, соответствующих результатам наблюдений за определенными переменными $v_i \in V$, где V – все множество наблюдаемых переменных. В итоге, для каждой переменной можно получить представление в виде процесса $\varphi_i(t)$. В ряде задач мониторинга компьютерных сетей требуется аппроксимация $\varphi_i(t)$ [1, 2]. Для этого строится соответствующая аппроксимирующая модель $f_i(t)$. Построение $f_i(t)$ состоит из этапов структурной и параметрической идентификации, для которых важна информация о поведении $\varphi_i(t)$. От точности, адекватности, экономичности и универсальности $f_i(t)$ зависит эффективность решения задачи аппроксимации, а следовательно, и задачи мониторинга компьютерной сети в целом.

Наблюдаемые процессы в компьютерных сетях можно рассматривать как случайные процессы с различным характером поведения. Соответственно для их аппроксимации необходимо применять статистический подход. Основная сложность аппроксимации заключается в том, что все процедуры выбора структуры модели основываются на экспертной оценке. В зависимости от исходных условий, эксперт либо выбирает модель на основании своего опыта и знаний, либо применяет метод аппроксимации с заранее выбранной моделью, либо использует методы структурной идентификации. Например, метод авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) [3] часто используется для анализа временных рядов. В рамках этого метода предложена одноименная параметрическая модель с заранее выбранной структурой.

© В. И. САЕНКО, А. И. ГРИЦЕНКО 2014

Невозможность выбора другой модели ограничивает область применения метода. Когда задача аппроксимации требует высокой точности, могут применяться специальные методы выбора модели наблюдаемого процесса [4]: метод полного перебора, метод генетического алгоритма, метод группового учета аргументов и другие. Такие методы позволяют выбрать наиболее подходящую модель, но при этом они являются трудозатратным и предъявляют высокие требования к квалификации эксперта. Еще один способ выбора модели – использование априорной информации об объекте аппроксимации. Метод структурной идентификации нелинейных динамических систем [5] использует метод информационного синтеза для получения вспомогательного подмножества данных и последующего выбора класса моделей.

Выбор того или иного метода идентификации модели может быть осуществлен при наличии достаточной информации о поведении наблюдаемого процесса. Учитывая, что в компьютерной сети для многих наблюдаемых переменных можно сформировать априорные оценки, предлагается эту априорную информацию формализовать для последующего решения задач идентификации.

Цель работы. Цель работы состоит в типизации математических и статистических свойств аппроксимирующих функций для наблюдаемых процессов при мониторинге компьютерных сетей.

Постановка задачи. Предположим, что планируется проведение мониторинга некоторых процессов в компьютерной сети. Пусть известно, что во время мониторинга накапливаемые данные проходят дополнительную обработку, включающую сглаживание, моделирование, аппроксимацию.

Задача исследования сводится к типизации математических и статистических свойств функций, описывающих поведение наблюдаемых процессов, с представлением их в виде некоторых информационных описаний, для последующего использования в задачах аппроксимации.

Концептуальные положения об информационных описаниях.

Мониторинг компьютерной сети сводится к накоплению и анализу значений выбранных переменных, измеренных через определенные промежутки времени. Накопленные за интервал времени $[t_a, t_b]$ значения $\bar{v}_{ij}$ представляются некоторым процессом $\varphi_i(t)$. Этому процессу можно поставить в соответствие некоторую аппроксимирующую функцию $f_i(t)$. Но для $f_i(t)$ всегда можно сформировать набор статистических и математических характеристик $P(f_i(t))$. Фактически между функцией $f_i(t)$ и характеристиками $P(f_i(t))$ можно поставить однозначное соответствие. Учитывая, что $P(f_i(t))$ формируется для $f_i(t)$, которая в свою очередь однозначно строится для $\varphi_i(t)$, справедливо утверждение, что для $\varphi_i(t)$ можно сформировать некоторый набор свойств $P(\varphi_i(t))$, считая, что $P(\varphi_i(t))$ эквивалентно $P(f_i(t))$. Это в свою очередь позволяет реализовать следующий этап – формирование аппроксимирующей функции. В практических задачах для аппроксимирующих функций $f_i(t)$ выбирают ограниченный набор классов функций $f_i(t) \in F$ (желательно невысокой нелинейности). Следовательно,

задача сводится к формированию $P(\varphi_i(t))$, считая, что $\varphi_i(t) \in F$.

Так как характеристики наблюдаемого процесса $P(\varphi_i(t))$ отражают изменения значений определенной переменной $v_i \in V$, то предлагается эти характеристики представлять в виде некоторой информационной параметрической модели $C(\varphi_i(t))$. Каковы особенности такого представления? Дело в том, что структура такой информационной модели для разных переменных останется одной и той же, но значения ее параметров будут различны. Более того, значения этих параметров будут различны даже для одной и той же (по наименованию) переменной при рассмотрении разных компьютерных сетей. Следовательно, модель $C(\varphi_i(t))$ будет описывать индивидуальность переменной, отражаемой в виде процесса в конкретной сети.

Учтем, что информационная модель – это модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта [6]. В контексте программной инженерии информационная модель – это представление *концептов, ограничений, взаимосвязей, правил и операций*, определяющих семантику данных в рамках рассматриваемой предметной области [7].

Определим модель в виде $C = (a_1, a_2, \dots, a_k)$, где $a_1, a_2, \dots, a_k$ – параметры модели, представляющие собой статистические и математические характеристики процесса или *концепты*. *Ограничения* будут заданы в виде множеств допустимых значений параметров модели. *Взаимосвязи* будут определять связь выбранных параметров с поведением наблюдаемого объекта и с описанием аппроксимирующей функции. *Правила* будут описаны в виде алгоритмов расчета значений параметров $a_1, a_2, \dots, a_k$. *Операции* будут определены как операции выбора аппроксимирующей функции для описания заданного процесса. Таким образом, принятая структура $C(\varphi(t)) = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ может называться информационной моделью процесса наблюдаемой переменной $\varphi_i(t)$.

Схема решения задач мониторинга предполагает прохождение нескольких стадий. Общая структура этой схемы может быть представлена диаграммой, изображенной на рис. 1.



Рис. 1 – Схема реализации задачи мониторинга

Задачи оценивания свойств наблюдаемого процесса актуальны на стадии предварительного анализа и на стадии экспериментального анализа. Отличие в том, что для предварительного анализа мы не располагаем экспериментальными данными и, следовательно, можем проводить расчеты параметров модели на основании только лишь экспертного анализа. А на экспериментальной стадии могут быть проведены измерения и получены представительные выборки значений наблюдаемых переменных. Это позволяет использовать математические алгоритмы для расчета параметров модели. В этой связи предлагается следующее концептуальное решение: для описания свойств наблюдаемого (планируемого для наблюдения) процесса использовать две информационные модели C_{-1} и C_1 . Модель C_{-1} будем использовать на этапе предварительного анализа, а модель C_1 на этапе экспериментального анализа. Модель C_{-1} будем называть *априорной*, а C_1 *апостериорной*.

Положения об информационных моделях. На сегодняшний день для менеджмента информационно-технических систем широко используется несколько разновидностей информационных моделей, описывающих наблюдаемые переменные. Организация Internet Engineering Task Force (IETF) разработала информационную модель с иерархической структурой под названием Structure of Management Information (SMI) [8]. Организация Distributed Management Task Force (DMTF) предложила альтернативный вариант информационной модели с объектно-ориентированной структурой под названием Common Information Model (CIM) [9]. Организация TeleManagement Forum (TMF) разработала модель Shared Information/Data model (SID) с акцентом на бизнес задачи [10]. Организация ITU-T в стандарте TMN [11] описала свой вариант информационной модели менеджмента компьютерной сети.

Наиболее перспективным считается стандарт DMTF CIM [9]. CIM – это открытый стандарт, состоящий из спецификации инфраструктуры и описания схемы. Спецификация инфраструктуры описывает архитектуру информационных моделей, язык описания моделей и способ взаимодействия модели CIM с другими информационными моделями (например, SMI). Основанные на UML модели CIM являются объектно-ориентированными. Схема CIM – это реализация информационной модели CIM, состоящей из множества моделей данных. Она охватывает наиболее распространенные на сегодняшний день множества элементов менеджмента, которые распределены по таким группам, как компьютерные системы, операционные системы, компьютерные сети, сервисы, хранилища данных и т. д.

Предлагаемые в данной работе информационные модели ориентированы на применение в задачах аппроксимации наблюдаемых процессов в компьютерной сети. Основные требования к созданию информационных моделей следуют из определений, приведенных в разделе 2. Если задано абстрактное представление типов сущностей, включающее в себя описание их свойств, взаимосвязей и операций, которые могут быть осуществлены над ними, то задана информационная модель.

Априорная информационная модель для стадии предварительного анализа. Частичная детерминированность процессов компьютерной сети

позволяет заранее дать некоторую характеристику всем переменным множества V . Это создает условия построения априорной информационной модели C_{-1} . Речь идет об ожидаемых изменениях во времени значений выбранных для наблюдения переменных. Предлагается следующий набор априорных характеристик (табл. 1).

Таблица 1 – Априорные характеристики наблюдаемых процессов.

Характеристика	Обозначение	Допустимые значения
Динамичность	d_{φ}	$\{0,1\}$
Линейность	l_{φ}	$\{0,1\}$
Стационарность	s_{φ}	$\{0,1\}$
Время жизни	t_{φ}	$\{0,1\}$

Значения этих характеристик зависят от особенностей контролируемой информационной системы и типа контролируемых объектов. Например, в корпоративных сетях с локальными ресурсами доменной структуры управления переменная «число активных ТСП соединений» может быть низко динамичной для клиентских компьютеров, но высоко динамичной для Web-серверов. Особенность таких характеристик в том, что они могут быть получены априорно, то есть до проведения измерений значений переменных.

Оговорим правила оценивания априорных характеристик. Прежде всего, введем понятие «интервала актуализации данных» ΔT_c . Этот интервал определяет величину окна значений наблюдаемого процесса $\varphi_v(t)$, на котором оцениваются его априорные и апостериорные характеристики. C_{-1} описывает статистические характеристики $\varphi_i(t)$.

Введем также «интервал значимости» Δt_c – это интервал, на котором выбирается одно усредненное значение. Этот интервал определяет степень дискретизации наблюдаемых значений для последующей обработки.

Динамичность процесса будем оценивать как частоту изменения знака первой производной на интервале ΔT_c . Эту характеристику будем выражать переменной d_{φ} . Если число изменений знака первой производной на интервале ΔT_c больше 3, то считаем процесс высокодинамичным ($d_{\varphi} = 1$), иначе низкодинамичным ($d_{\varphi} = 0$). Оценивание производится экспертом на основе визуального анализа. Фактически оно сводится к оценке «есть или нет» значимые колебания значений наблюдаемого процесса.

Линейность процесса будем оценивать на основании наличия изменений знака первой производной на интервале ΔT_c . Эту характеристику будем выражать переменной l_{φ} . Если производная не меняет знак, либо частота изменений настолько мала, что ею можно пренебречь, то процесс считаем линейным ($l_{\varphi} = 1$), иначе нелинейным ($l_{\varphi} = 0$). При мониторинге компьютерных сетей практически не встречаются переменные, которым соответствует функция вида e^x . В большинстве случаев это зависимости, область определений которых

ограничена некоторым интервалом. Поэтому предлагаемая оценка правомерна. Экспертное оценивание сводится к выбору – есть или нет нелинейность. То есть насколько чувствительной будет выбираемая аппроксимирующая функция.

Стационарность процесса будем оценивать в общепринятом смысле. Эту характеристику будем выражать переменной s_φ . Если среднее постоянно, а выборочная дисперсия не зависит от времени, то считаем процесс стационарным ($s_j=1$), иначе нестационарным ($s_j=0$).

Время жизни процесса можно оценить на основании его существования. Эту характеристику будем выражать переменной t_φ . Если процесс существует только на относительно коротких периодах наблюдений, то считаем его кратковременным ($t_\varphi = 0$), иначе долговременным ($t_\varphi = 1$). Например, процессы «запрос-ответ» относятся к категории короткоживущих или кратко временных.

Особенность такого оценивания в том, что эти оценки можно сформировать без проведения длительных измерений, используя априорную информацию о поведении наблюдаемой переменной.

Предлагается вид информационной модели

$$C_{-1} = \{d_\varphi, l_\varphi, s_\varphi, t_\varphi\}, \quad (1)$$

с ограничениями $d_\varphi = \{0,1\}$; $l_\varphi = \{0,1\}$; $s_\varphi = \{0,1\}$; $t_\varphi = \{0,1\}$.

Эта информационная модель будет связана с задачей предварительного оценивания возможного поведения наблюдаемого процесса и выбором плана проведения экспериментов для построения в будущем адекватной аппроксимирующей модели.

К операциям модели C_{-1} отнесем выбор плана проведения эксперимента для последующего апостериорного оценивания.

Апостериорная информационная модель для экспериментальной стадии. Благодаря тому, что процесс мониторинга является непрерывным, мы можем на основании проведенных наблюдений уточнить априорные и получить апостериорные характеристики наблюдаемого процесса, то есть построить апостериорную модель C_1 . Предлагается следующий набор апостериорных характеристик (табл. 2).

Таблица 2 – Апостериорные характеристики наблюдаемых процессов.

Характеристика	Обозначение	Допустимые значения
Степень нелинейности	l_f	$\{0,1,2\}$
Непрерывность	c_f	$\{0,1,2\}$
Монотонность	m_f	$\{-1,0,1\}$
Выпуклость/вогнутость	u_f	$\{-1,0,1\}$

Оговорим правила их формирования. При расчете значений параметров модели C_1 , так же как и для параметров модели C_{-1} , задается «интервал актуализации данных» ΔT_c . Параметры C_1 являются математическими

характеристиками функции наблюдаемого процесса $\varphi_i(t)$. Введем еще «интервал измерений» $\Delta\tau_c$ – это интервал, через который производятся измерения наблюдаемой переменной. Для выбранных интервалов справедливо $\Delta T_c > \Delta t_c > \Delta\tau_c$. Все данные измеряются с дискретностью соответствующей $\Delta\tau_c$. Далее данные усредняются в соответствии с интервалом $\Delta\tau_c$, например с помощью фильтра простого скользящего среднего [12].

Степень нелинейности. Действительная функция $f(t)$ обладает свойством нелинейности k -го порядка на интервале $[t_a, t_b]$, если ее k -я производная существует и постоянна на всем интервале $[t_a, t_b]$: $\forall t \in [t_a, t_b] \exists (f^{(k)}(t) \in R)$. Степень нелинейности будем выражать параметром l_f . Введем упрощенную оценку l_f , основанную на первой производной функции. Будем рассматривать три типа нелинейности: кусочно-непрерывная функция ($l_f = 0$) при $f'(t)$ равной нулю, линейная функция ($l_f = 1$) при $f'(t)$ равной константе отличной от нуля, нелинейная функция ($l_f = 2$) для всех других значений $f'(t)$.

Непрерывность. Функция $f(t)$ непрерывна на интервале $[t_a, t_b]$, если ее первая производная на этом интервале существует. Это условие можно записать так: $f(t) \in C[t_a, t_b]$, $\forall t \in [t_a, t_b] \exists f'(t) \in (-\infty, \infty)$. Оценку данной характеристики будем осуществлять экспертным путем на основании визуального анализа графического представления функции наблюдаемого процесса. То есть эксперт формирует значение этого свойства, как требование. Непрерывность будем выражать параметром $c_f = \{0, 1, 2\}$, где 0 – кусочно-непрерывная функция, терпящая разрыв первого рода, 1 – кусочно-непрерывная функция, терпящая разрыв второго рода, 2 – непрерывная функция, не имеющая разрывов. Дополнительно будем оценивать непрерывность путем расчета первой производной через разделенные разности, но основной остается априорная экспертная оценка.

Монотонность. Функция $f(t)$ строго монотонна на интервале $[t_a, t_b]$, если она на нем непрерывна и ее первая производная на этом интервале существует и строго больше или меньше нуля. Монотонность функции будем выражать с помощью параметра $m_f = \{-1, 1, 0\}$. Строго монотонная функция возрастает на интервале $[t_a, t_b]$, если $f(t) \in C[t_a, t_b]$, $\forall t \in [t_a, t_b] \exists f'(t) > 0$ ($m_f = 1$). Строго монотонная функция убывает на интервале $[t_a, t_b]$, если $f(t) \in C[t_a, t_b]$, $\forall t \in [t_a, t_b] \exists f'(t) < 0$ ($m_f = -1$). Если условие монотонности не выполняется, то $m_f = 0$. Из-за наличия шумовых составляющих в реальных данных это свойство также целесообразно оценивать экспертно в рамках визуального анализа на основании априорной и апостериорной информации для реальных данных.

Выпуклость/вогнутость. Функция $f(t)$ строго вогнутая или выпуклая на интервале $[t_a, t_b]$, если она на нем непрерывна и ее вторая производная на этом интервале существует и соответственно строго больше или меньше нуля. Выпуклость или вогнутость функции будем выражать с помощью параметра $u_f = \{-1, 1, 0\}$. Функция строго вогнутая на интервале $[t_a, t_b]$, если $f(t) \in C[t_a, t_b]$,

$\forall t \in [t_a, t_b] \exists f''(t) > 0$ ($u_f = 1$). Функция строго выпуклая на интервале $[t_a, t_b]$, если $f(t) \in C[t_a, t_b]$, $\forall t \in [t_a, t_b] \exists f''(t) < 0$ ($u_f = -1$). Если условие выпуклости или вогнутости не выполняется, то $u_f = 0$. По аналогии с оценкой монотонности это свойство также целесообразно оценивать экспертно в рамках визуального анализа на основании априорной информации и реальных данных.

Предлагается вид *информационной модели*

$$C_1 = \{d_\varphi, l_\varphi, s_\varphi, t_\varphi, l_f, c_f, m_f, u_f\}, \quad (2)$$

с ограничениями $l_f = \{0, 1, 2\}$; $c_f = \{0, 1, 2\}$; $m_f = \{-1, 0, 1\}$; $u_f = \{-1, 0, 1\}$.

Расчет параметров модели C_1 осуществляется на этапе проведения активных наблюдений процессов в компьютерной сети.

Модель C_1 будет связана с задачей выбора аппроксимирующей функции для построения модели наблюдаемого процесса. Этот этап относится к операциям модели C_1 (это тема отдельной работы).

Анализ моделей. Предложенные информационные модели предназначены для использования в задачах аппроксимации наблюдаемых процессов в компьютерной сети. При этом предполагается, что для аппроксимации будут выбираться функции из ограниченного набора их типов: ступенчатые, линейные, квадратичные полиномиальные и кусочные (не выше второго порядка). Предложенные решения должны соответствовать требованиям необходимости и достаточности, а также полноты, точности и непротиворечивости.

Необходимость. Для выбора аппроксимирующих функций характеристики должны отражать математические свойства таких функций. Эти требования полностью удовлетворены.

Достаточность. Набор предложенных характеристик позволяет однозначно выбрать тип аппроксимирующей функции из ограниченного набора типов таких функций.

Полнота. Модели соответствуют реальным наблюдаемым процессам, так как отражают их статистические и математические свойства. При этом выбранные свойства являются наиболее существенными в контексте задачи аппроксимации.

Точность. Точность моделей гарантируется тем, что разработанные правила расчета значений параметров моделей, основаны на статистическом и математическом анализе. К тому же непрерывность процесса мониторинга позволяет повышать информативность собираемых данных и уточнять значения параметров апостериорной модели.

Непротиворечивость. В качестве параметров моделей выбраны непротиворечивые характеристики наблюдаемого процесса. Любые противоречия, возникающие в ходе оценивания моделей, свидетельствуют о неправильно выбранных параметрах.

Пример. Пусть имеется некоторая компьютерная сеть. Предполагается реализация процесса мониторинга с помощью технологии WMI. Пусть будут контролироваться две переменные: DiskTransfersPersec (DT) из класса

Win32_PerfFormattedData_PerfDisk_PhysicalDisk и Connections Established (CE) из класса Win32_PerfFormattedData_Tcpip_TCPv4.

1. *Построение модели C_{-1} .* Исходя из априорной информации о рассматриваемых переменных, можно отметить следующее. Переменная DT характеризует уровень использования физического носителя данных и представляет собой высоко динамичный процесс ($d_\varphi = 1$) с нелинейным характером изменения значений ($l_\varphi = 0$). Переменная CE показывает количество TCP соединений в текущий момент. Во времени представляется низко динамичным процессом ($d_\varphi = 0$) со ступенчатым изменением значений ($l_\varphi = 1$). Оба процесса долгоживущие ($t_\varphi = 1$). DT – нестационарный процесс ($s_\varphi = 0$), а CE – локально стационарный ($s_\varphi = 1$).

Ожидаемый вид представления функций измеряемых переменных приведен на рис. 2 в нормированном виде. Модель C_{-1} для выбранных переменных будет представлена как $C_{-1}(CE) = \{0, 1, 1, 1\}$ и $C_{-1}(DT) = \{1, 0, 0, 1\}$.

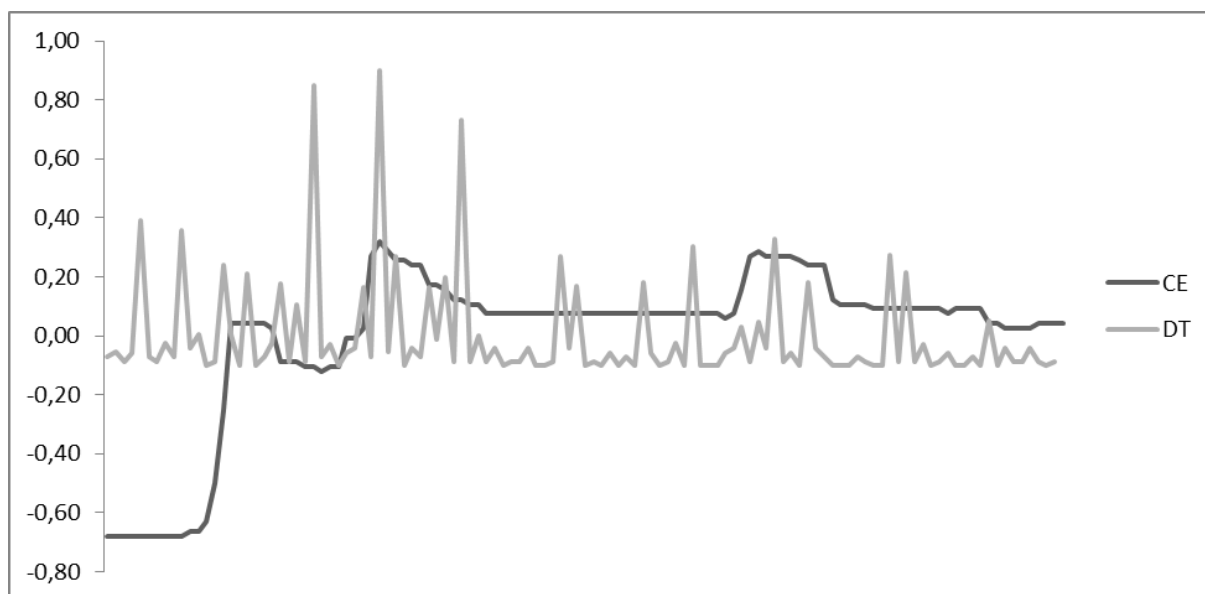


Рис. 2 – Результат предварительных выборочных измерений

Полученные модели можно использовать для выбора условий проведения тестового процесса измерений рассматриваемых переменных с целью получения апостериорных характеристик. Результаты отражают определенные условия эксплуатации сети.

2. *Построение модели C_1 .* Пусть в результате проведения эксперимента, состоящего из нескольких испытаний ($\Delta\tau_c = 1с$), получены выборки значений для наблюдаемых процессов. Пусть ΔT_c равен 10, а Δt_c равен 5. В результате сглаживания данных получаем новые представления наблюдаемых процессов. На рис. 3 и 4 представлены нормированные значения наблюдаемых процессов до и после сглаживания соответственно.

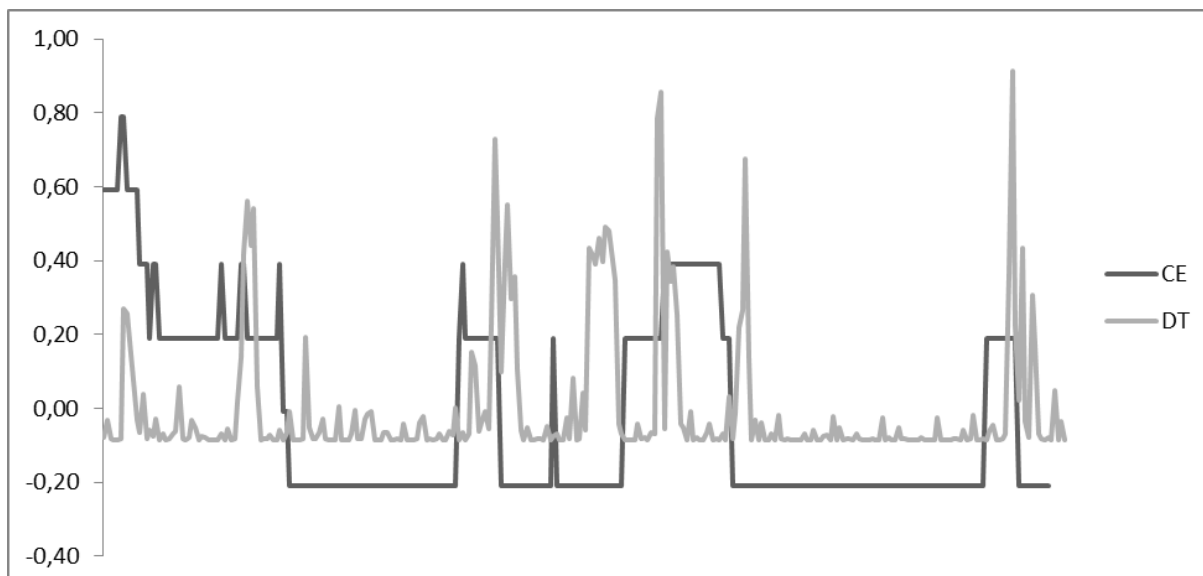


Рис. 3 – Результат измерений на стадии экспериментального оценивания

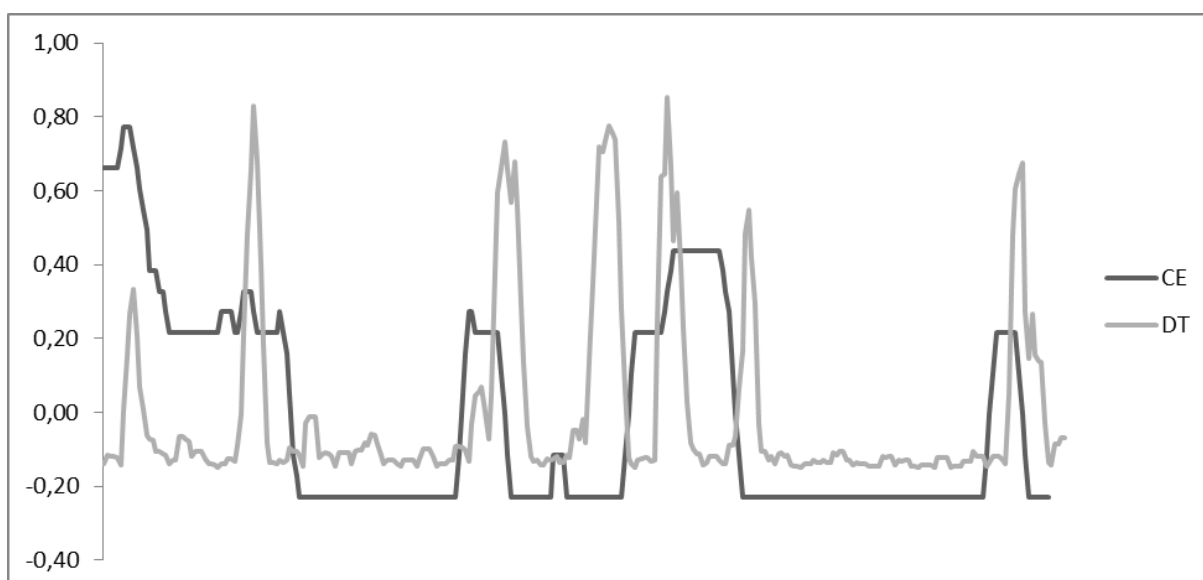


Рис. 4 – Результат сглаживания измеренных значений

В соответствии с правилами, описанными в п.5, уточним априорные и рассчитаем апостериорные характеристики наблюдаемых процессов.

Оценки для динамичности, нелинейности, стационарности, времени жизни остались прежние. *Степень нелинейности процесса*: *СЕ* можно аппроксимировать ступенчатой кусочно-линейной функцией, следовательно *СЕ* – линейный процесс ($I_f = 0$), *DT* характеризуется как высоко нелинейный процесс ($I_f = 5$). *Монотонность процесса и выпуклость*: для процессов *СЕ* и *DT* условия монотонности и выпуклости функции не выполняются ($m_f = 0$, $u_f = 0$). *Непрерывность*: визуальный анализ значений *СЕ* показывает, что процесс можно аппроксимировать кусочно-непрерывной функцией ($c_f = 0$), а *DT* – функцией с разрывами первого рода ($c_f = 2$). Результаты расчета C_1 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения апостериорных характеристик.

Название переменной	$\{d_{\varphi}, l_{\varphi}, s_{\varphi}, t_{\varphi}, l_f, c_f, m_f, u_f\}$
ConnectionsEstablished	$\{0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0\}$
DiskTransfersPersec	$\{1, 0, 0, 1, 5, 2, 0, 0\}$

Полученные апостериорные характеристики предполагается в дальнейшем использовать для решения задачи аппроксимации наблюдаемых процессов.

Выводы. Предложены априорная и апостериорная информационные модели наблюдаемых процессов для мониторинга компьютерных сетей. Параметры моделей выбраны на основании экспертного анализа ключевых характеристик наблюдаемых процессов. Априорная модель описывает статистические характеристики наблюдаемых процессов, рассчитываемые экспертным путем до проведения измерений. Апостериорная модель описывает статистические и математические характеристики наблюдаемых процессов, полученные на основании проведенных измерений.

Сравнительный анализ предложенных моделей показывает возможность их использования в качестве расширения существующих моделей менеджмента компьютерных сетей. Это позволит повысить эффективность проведения мониторинга компьютерных сетей. По сравнению с моделями, описанными в [8 – 11], предложенные модели позволяют описывать динамические абстрактные процессы компьютерной сети. И хотя наблюдаемые процессы не являются объектами с точки зрения классических моделей менеджмента сетей (SMI, CIM), предложенный подход позволяет использовать разработанные модели в качестве расширения существующих моделей менеджмента. В целом предложенная методология позволяет более детально оценить каждый наблюдаемый процесс для задачи аппроксимации. Разработанные правила выбора параметров моделей позволяют максимально автоматизировать процесс принятия решений на этапе построения моделей наблюдаемых процессов при мониторинге компьютерных сетей.

Дальнейшая работа будет вестись над разработкой метода мониторинга процессов в компьютерной сети, который будет основываться на разработанных моделях и технологиях WBEM-CIM.

Научная новизна состоит в том, что впервые предложены информационные модели, описывающие наблюдаемые процессы для мониторинга компьютерной сети. Особенностью предложенных моделей является их практическая ориентация на использование в процессах мониторинга компьютерных сетей. В процессе верификации моделей, подтверждена их полнота, адекватность и избыточность.

Также к научной новизне относятся предложенные наборы априорных и апостериорных характеристик наблюдаемых переменных, которые позволяют повысить эффективность решения задачи аппроксимации наблюдаемых процессов. Для выбора значений характеристик разработаны соответствующие правила.

Практическая ценность предложенных моделей заключается в возможности их использования в задачах мониторинга, обеспечивая снижение стоимости процесса мониторинга компьютерных сетей в целом.

Список литературы: 1. Hernandez, E. Adaptive Sampling for Network Management [Text] / E. Hernandez, M. Chidester, A. George // Journal of Network and Systems Management. – 2001. – Vol. 9, № 4. – P. 409-434. 2. Саенко, В. И. Метод выбора моментов измерений для процессов непрерывного мониторинга [Текст] / В. И. Саенко, А. И. Гриценко // Радиоэлектроника и информатика. – 2007. – №4. – С. 119-122. 3. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики [Текст] / С.А. Айвазян, В. С. Мхитарян // Юнити. – 1998. 4. Стрижов, В. В. Методы выбора регрессионных моделей [Текст] / В. В. Стрижов, Е. А. Крымова // Вычислительный центр РАН. – 2010. 5. Карабутов, Н. Н. Выбор структуры модели при обработке результатов измерений в системах управления [Текст] / Н. Н. Карабутов // Измерительная техника. – 2008. – № 9. – С. 29-33. 6. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1992-01-01. 7. Lee, Y. Tina. Information Modeling: From Design To Implementation [Text] / Y. Tina Lee // Proceedings of the 2nd World Manufacturing Congress, Durham (United Kingdom). – 1999. – Vol. 1. – P. 315-321. 8. IETF Std. 58, RFC 2578. Structure of Management Information Version 2 (SMIv2) [Text]. – April 1999. 9. DMTF Std. DSP0004, Specification Version 2.6.0. Common Information Model (CIM) Infrastructure [Text]. – March 2010. 10. Framework Shared Information/Data Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tmforum.org/InformationFramework/1684/home.html. 11. ITU-T Std. M.3100. Generic network information model [Text]. – April 2005. 12. Грешилов, А. А. Математические методы построения прогнозов [Текст]. / А. А. Грешилов, В. А. Стакун // Радио и связь. – 1997.

Bibliography (transliterated): 1. Hernandez, E., Chidester, M., George, A. (2001). Adaptive Sampling for Network Management. Journal of Network and Systems Management, Vol. 9, № 4, 409-434. 2. Sayenko, V., Grytsenko, O. (2007). A method of choosing observed variables for processes of continuous network monitoring. Radioelectronics and Informatics. Kharkov: KNURE, №4, 119-122. 3. Ayvazyan, S. A., Mkhitaryan, V. S. (1998). Applied statistics and fundamentals of econometrics. Moscow: Uniti. 4. Strijov, V. (2010). Methods of regression model selection. Moscow: Computing Center RAS. 5. Karabutov, N. N. (2008). Selection of the structure of a model in processing the results of measurements in control systems. Measurement Techniques, Vol. 51, № 9, 29-33. 6. GOST 34.003-90. (1992). Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and definitions. 7. Lee, Y. T. (1999). Information modeling: from design to implementation. Proceedings of the 2nd world manufacturing congress. Durham, Vol. 1, 315-321. 8. IETF Std. 58, RFC 2578. (1999). Structure of Management Information Version 2 (SMIv2). 9. DMTF Std. DSP0004, Specification Version 2.6.0. (2010). Common Information Model (CIM) Infrastructure. 10. Framework Shared Information/Data Model. URL: www.tmforum.org/InformationFramework/1684/home.html. 11. ITU-T Std. M.3100. (2005). Generic network information model. 12. Greshilov, A. A., Stakun, V. A. (1997). Mathematical methods of forecast. Moscow: Radio i sviaz.

Надійшла (received) 11.06.2014

УДК 004.922, УДК 623.438.3.001.85

П. А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
А. А. ЗУЕВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
К. Н. ЯЦЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКЦИЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

В статье приводится обзор проекций применяемых в системах визуализации. Проведен сравнительный анализ прямой перспективы, перцептивной перспективы и проекции Панини. Рассмотрены математические модели проективных преобразований. На основании этого

© П. А. КАЧАНОВ, А. А. ЗУЕВ, К. Н. ЯЦЕНКО 2014

определены основные преимущества и недостатки при создании изображения трехмерной сцены на плоскости. Представлены сведения о пространственном восприятии человеком окружающего мира. Сделаны выводы относительно практического применения рассмотренных проективных преобразований в компьютерной графике, а так же о возможности реализации.

Ключевые слова: прямая перспектива, перцептивная перспектива, проекция Панини, ведута, Раушенбах, большой угол обзора.

Введение. Компьютерная графика достигла больших успехов в виртуализации моделируемой среды. Современные графические системы способны в реальном времени визуализировать большие пространства с высокой степенью детализации, наблюдаемые в реальном мире физические процессы. Создание реалистических изображений, которые воспроизводят картину реального мира в соответствии со зрительными ощущениями человека, является одной из главных задач компьютерной графики. Одной из областей применения компьютерной графики, которая требует решения данной задачи, является создание имитационно-тренажерных комплексов, которые в максимально возможной степени приближены к реальным установкам и позволяют тренирующимся приобрести правильные и устойчивые навыки.

Цель работы. Сравнительный анализ систем перспектив применяемых в компьютерной графике, которые позволили бы получить изображение максимально соответствующее психофизическим особенностям зрительного восприятия человека при больших углах обзора, на малых расстояниях до объектов.

Методика экспериментов. В литературе рассмотрены методы проекции из трехмерного пространства на плоскость, применяемые в компьютерной графике. Кроме прямой перспективы, отдельный интерес представляет нелинейная перспектива и ее возможные вариации.

Прямая перспектива. Пусть в декартовой системе координат XYZ , начало которой совпадает с оптическим центром глаза в точке O , задана точка $P = [x, y, z]$, видимая под углом θ (на рис.1 показана проекция пространства YOZ). Перпендикулярно главному лучу зрения, совпадающему с осью OZ , задана плоскость $z = z_0$, называемая картинной плоскостью K . Ренессансная система перспективы, в основе которой лежит геометрическая оптика, предполагает, что изображение точки P (Рис.2) образуется путем пересечения луча OP с картинной плоскостью K в точке P''' . При этом:

$$P''' = [x''', y''', z'] = P f'''(z) = P \frac{z'}{z}, \quad (1)$$

где $f'''(z) = z' / z$ – функция ренессансного проективного преобразования.

Изображение на сетчатке глаза от натуры (точка P) и от ее изображения на картине (точка P''') будет одинаковым, поскольку в точке O расположен центр проекции глаза. «Тождественность сетчатого образа, порожденного картиной, позволяет условно утверждать, что в системе ренессансной перспективы изображается сетчаточный образ» [1].

Перцептивная перспектива. При построении в системе перцептивной перспективы исходят из того, что должно изображаться зрительно

воспринимаемое пространство, а не его оптический образ на сетчатке. Из работ психологов следует, что над сетчаточными образами предметов выполняются операции, подобны обратным проективным преобразованиям [2]. Чтобы воссоздать объективное пространство, зрительная система должна либо измерять расстояние до точки P , либо определять координаты $[x, y]$ точки путем параллельной проекции из центра в $-\infty$. На основе экспериментов по зрительному восприятию размеров предметов посредством кажущегося параллельного проектирования было показано, что центр проекции системы «глаз + мозг» (системы, которая видит, формируя пространственный облик натуральной среды – перцептивное пространство) не совпадает с точкой O , но и не расположен в $-\infty$ [1– 3]. Он смещен вдоль оси OZ в точку E' на расстояние d , которое оказалось личностной константой наблюдателя $d = (z_0/\alpha) - z_0$, где α – коэффициент сжатия пространства в точке P , и является функцией координат

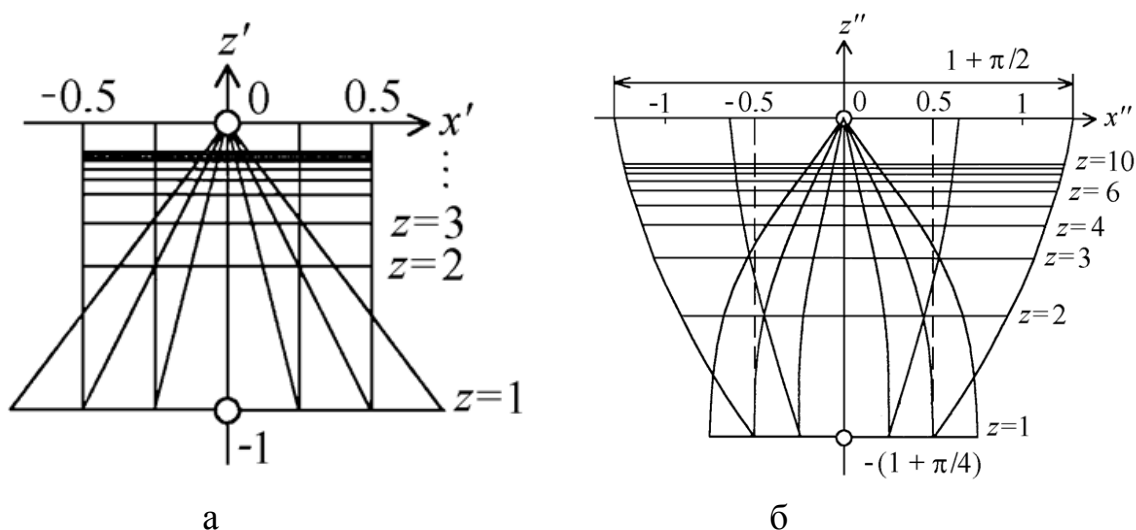


Рис. 1 – Пространство изображений:
а – линейное, б – нелинейное

точки пространства $\alpha = \alpha(x, y, z)$ [1]. В результате исходная точка P проецируется на картинную плоскость вдоль луча $E'P$ в точку P' , абсцисса и ордината которой равны абсциссе x'' и ординате y'' точки P'' . Аппликата z'' находится из условия, что на сетчатке создается один и тот же образ от точки P и от ее изображения P'' , т.е. из центра проекции O точка P'' видна под углом θ . При этом:

$$P'' = [x'', y'', z''] = P f''(z) = P \frac{z_0 + d}{z + d}, \quad (2)$$

где $f''(z) = \frac{z_0 + d}{z + d} = ||\text{подстановка } d|| = \frac{1}{(\alpha/z_0)z + 1 - \alpha}$ – функция перцептивного проективного преобразования. Из (1) и (2) видно основное отличие ренессансной и перцептивной перспектив. Если первая формирует плоское изображение на картинной плоскости K , то вторая – объемное изображение в так называемом перцептивном пространстве.

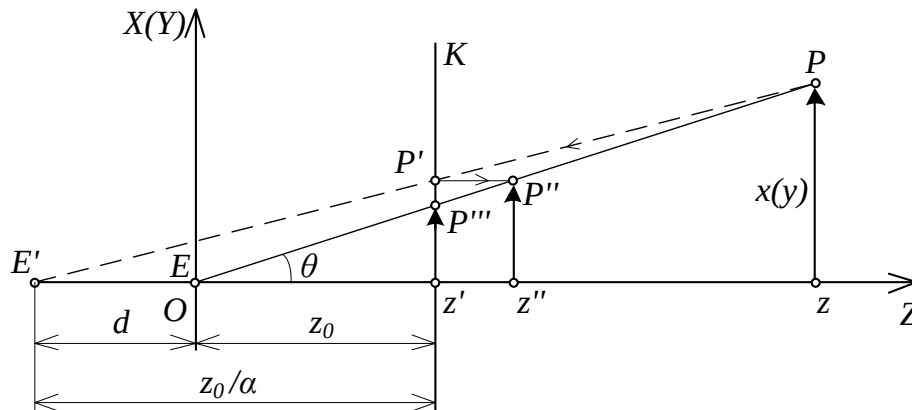


Рис. 2 – Проекция пространства на плоскость YOZ для прямой и перцептивной проекции

Для ренессансной перспективы наличие картинной плоскости $z = z_0 \neq 0$ имеет принципиальное значение, поскольку при размере поля зрения θ и различном удалении картинной плоскости $z = z_0 > 0$ от наблюдателя изменяется лишь размер или масштаб картины, что является практически несуществующим параметром изображения. Для перцептивной перспективы плоскость $z = z_0$ задает масштаб объемного изображения. Функцию проективного преобразования из (2) можно переписать следующим образом:

$$f''(z) = \frac{d}{z+d} \left(1 + \frac{z_0}{d} \right) = \frac{d}{z+d} k'', \quad (3)$$

где $k'' = 1 + \frac{z_0}{d}$ – масштабный коэффициент. При $z_0 > 0$ получаем увеличенное изображение, при $z_0 < 0$ и $|z_0| < d$ – уменьшенное. При $z_0 = 0$ масштаб перцептивного пространства $k'' = 1:1$.

Проекция Панини (Ведута). Проекция Панини представляет собой семейство частичных отображений между поверхностью сферы и плоскостью [4–9]. На поверхность сферы, центр которой совпадает с центром декартовой системы координат, проецируется изображение трехмерного пространства сцены, путем конического проецирования, центром которого является центр сферы. Радиус сферы $r = 1$. Точка M – проекция на сферу точки P пространства сцены. Картинная плоскость K касательная к сфере в точке $H(0, 0, 1)$, координаты точек плоскости обозначим через (h, v) . Координаты точек проекции на поверхности сферы выражаются через полярные координаты: долгота φ – угол измеряемый в плоскости $y = 0$ относительно отрицательного значения оси z ; полярное расстояние (широта) θ – угол наклона относительно оси z . В данную геометрическую модель вписывается цилиндр C с радиусом $r = 1$, ось которого совпадает с осью Y . Базовая проекция Панини представляет собой гномоническую проекцию трехмерного цилиндрического изображения, которое является линейной проекцией изображения сферы на касательный цилиндр. На плоскости отображается полученный перспективный вид части сцены.

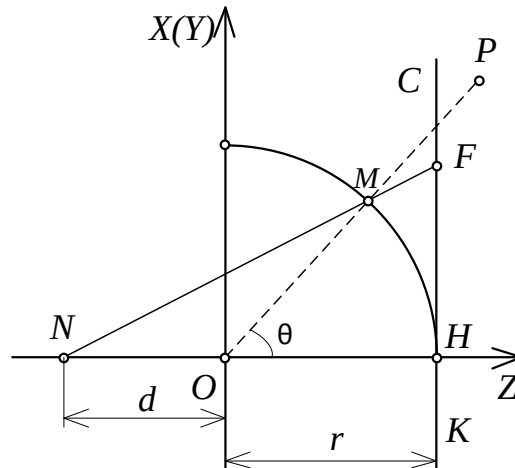


Рис. 3 – Проекция пространства на плоскость YOZ для проекции Панини

Центр гномонической проекции находится на оси наблюдения Z на расстоянии d от оси цилиндра. Таким образом, d является z координатой этой точки. Параметр d , который может принимать любые положительные значения, определяет форму проекции: $d = 0$ – гномоническая проекция; $d = 1$ – цилиндрическая стереографическую проекция; $d \rightarrow \infty$ цилиндрическая ортографическую проекция.

Декартовы координаты точки на поверхности цилиндра:

$$x = \sin(\varphi), \quad y = \operatorname{tg}(\theta), \quad z = -\cos(\varphi)$$

Расстояние от центра проекции N до картинной плоскости равно $d + 1$, а расстояние от центра проекции до параллельной плоскости содержащей точку цилиндра составляет $d + \cos(\varphi)$. Их отношение:

$$S = \frac{d+1}{d+\cos(\varphi)} \quad (4)$$

является гномоническим проекционным масштабным коэффициентом для точки. Таким образом, проецирование со сферы на плоскость определяется следующими преобразованиями:

$$h = S * \sin(\varphi) \quad (5)$$

$$v = S * \operatorname{tg}(\theta) \quad (6)$$

Взаимобратное горизонтальное отображение приводит к квадратичному уравнению, которое получается из (5) и $\sin^2(\varphi) + \cos^2(\varphi) = 1$. Решая относительно $\cos(\varphi)$, который не зависит от знака h , можно вычислить S и определить аналитически инверсии (5) и (6) функцией $\operatorname{atan2}$, что позволит избежать погрешностей функций $\arcsin()$ и $\arccos()$ для аргументов близких к 1:

$$k = h^2 / (d + 1)^2. \quad (7)$$

Дискриминант квадратичной формы сводится к $\Delta = k^2 d^2 - (k + 1)(kd^2 - 1)$.

При $\Delta < 0$ решения нет, а в остальных случаях:

$$\cos(\varphi) = \frac{-kd + \sqrt{\Delta}}{k+1} \quad (8)$$

$$S = \frac{d+1}{d+\cos(\varphi)} \quad (9)$$

$$\varphi = \text{atan2}(h, S * \cos(\varphi)) \quad (10)$$

$$\theta = \text{atan2}(v, S) \quad (11)$$

Максимум горизонтального угла обзора изменяется с величиной d . Для $d \leq 1$ достигается практический предел ширины изображения, поскольку проекция параллельна плоскости наблюдения. При $d = 0$ теоретический предел составляет 180° , а на $d = 1$ составляет 360° . Для $d > 1$ максимум угла обзора опять сжимается, приближая к 180° при $d \rightarrow \infty$. Теоретический предел угла обзора (в радианах):

$$F = 2\arccos\left(-\begin{cases} \frac{1}{d}, d > 1 \\ d, \text{ в остальных случаях} \end{cases}\right)$$

Базовая проекция Панини изображает поперечные горизонтальные линии искривленными, с максимальной кривизной в центре изображения.

В компьютерной графике до сих пор для отображения трехмерной сцены на экране монитора применяется прямая перспектива. Это обусловлено простотой ее реализации и необходимых при этом вычислений. Такая система перспективы подразумевается во всех широко распространенных интерфейсах программирования приложений (API – Application Program Interface) для трехмерной графики, например OpenGL и Direct3D, а так же в аппаратном обеспечении компьютеров – видеоадаптерах.

Строго говоря, прямая перспектива не соответствует естественному зрительному восприятию человека. Более того, как показано в работе [10] безошибочно изобразить пространство на плоскости принципиально невозможно. Таким образом, применение прямой линейной перспективы в компьютерной графике для решения задач визуализации трехмерных сцен, не может удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к реалистичности изображений.

Материалами исследований послужили работы академика Раушенбаха Б.В. [1,10], в которых рассматривается нелинейное перспективное проецирование, а так же работы Ковалева А.М посвященные данной проблеме [11–13]. Дополнительным источником послужили работы художников XVIII века, выполнены в жанре ведута, а также проекция Панини – модель, позволяющая реализовать подобные изображения.

Обсуждение результатов. Рассматривая системы проекций, с точки зрения пригодности для отображения виртуального пространства на малых расстояниях до объектов при больших углах обзора, следует заметить, что прямая перспектива изображает объекты на малых расстояниях искаженно вследствие того, что не учитывает механизма константности величины. В результате на

плоских изображениях близкие предметы оказываются излишне увеличенными, а далекие – слишком уменьшенными. Нелинейная перспектива по Б.В.Раушенбаху включает механизм константности величины на малых расстояниях и прямую перспективу - на больших. В результате возникает аксонометричность близких предметов, увеличиваются в размерах удаленные предметы, и, кроме того, проявляется удивительный эффект обратной перспективы при монокулярном наблюдении предметов в ракурсе [10, С. 263–270].

Существенным ограничением предложенной системы является нарушение интерпозиции объектов, что не дает возможности отобразить на плоскости трехмерное пространство однозначно и неискаженным. Кроме этого в системе учитывается личностная константа наблюдателя, полученные зависимости эмпиричны, их трудно реализовать на практике в виде программного обеспечения трехмерной графики. Кроме того, есть ограничения, которые приводят к отсутствию общности.

Проекция Панини представляет собой математическую модель создания перспективных изображений с большим углом обзора. Она обладает следующими отличительными свойствами: почти всегда имеет центральную исчезающую точку; не смотря на широкий угол обзора, отсутствует перспективное искажение; сжатое пространство: объекты расположенные вблизи центральной исчезающей точки кажутся увеличенными и близко расположенными, остальная часть сцены не кажется слишком увеличенной.

Проекция Панини представляет собой цилиндрический аналог сферической стереографической проекции. Она обладает несколькими полезными свойствами: горизонтальное угловое сжатие по сравнению с гномонической проекцией; горизонтальное расположение пропорционально тангенсу половины угла зрения, а не к тангенсу всего угла зрения; прямые вертикальные линии остаются прямыми; все радиальные линии (те, которые проходят через центр наблюдения) отображаются прямыми.

Выводы. Из рассмотренных систем перспектив наибольший интерес для применения в компьютерной графике представляет проекция Панини. Ее главное отличие от нелинейной проекции Б.В. Раушенбаха заключается в том, что отсутствуют эмпирические зависимости, отсутствуют личностные константы наблюдателя, коэффициент сжатия пространства строго определен сферой и цилиндром, использованными при проецировании на картинную плоскость. Эта общность позволит упростить вычисления и получить изображения по своим характеристикам близким к перцептивной перспективе Раушенбаха. Также интерес представляют новые поверхности промежуточного проецирования, которые стали бы альтернативой используемого ранее цилиндра.

Список литературы: 1. Раушенбах, Б. В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. / Раушенбах Б. В. – М.: Наука, 1986. – 256 с. 2. Зенкин, Г. М., Петров А. П. О механизмах константности зрительного восприятия пространства. / Зенкин Г. М., Петров А. П. // Сенсорные системы. Л.: Наука, 1979. 3. Ковалев, А. М. Об увеличении предметов в перцептивном пространстве. / Ковалев А. М. // Автометрия. – 2002. – Т. 38, №5. 4. Sharpless T. K., Postle B., German D. M. Pannini: a new projection for rendering wide angle perspective images. / Sharpless T. K., Postle B., German D. M. // In Proceedings of the Sixth international conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging. – 2010.

pp.9–16. 5. Chang C., Hu M., Cheng W., Chuang Y. Rectangling Stereographic Projection for Wide-Angle Image Visualization. / Chang C., Hu M., Cheng W., Chuang Y. // In Proceedings of ICCV. – 2013. pp. 2824–2831. 6. Brosz J., Carpendale S., Samavati F., Wang H., Dunning A. Art and Nonlinear Projection. / Brosz J., Carpendale S., Samavati F., Wang H., Dunning A. // In Bridges 2009: Mathematical Connections in Art, Music and Science. – 2009. 7. Carroll R., Agrawala M., Agarwala A. Optimizing content-preserving projections for wide-angle images. / Carroll R., Agrawala M., Agarwala A. // ACM Trans. Graph. 28(3). – 2009. 8. Zorin D., Barr A. H. Correction of geometric perceptual distortions in pictures. / Zorin D., Barr A. H. // In SIGGRAPH '95, pp. 257- 264. 9. Kubovy M. The Psychology of Perspective and Renaissance Art. / Kubovy M. – Cambridge University Press, 1986. 10. Раушенбах Б.В. Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов. Приложения 1-9. / Раушенбах Б.В. – М.: Наука, 1980. – 289с. 11. Ковалёв А.М. О системах перспектив для компьютерной графики. / А.М. Ковалёв, В.Е. Лищенко, М.В. Степанов // Автометрия. – 2007. – Т.43, № 3. 12. Ковалев А.М. Оценка искажений предметов при отображении перцептивного пространства на картинную плоскость. / А. М. Ковалев // Автометрия. – 2004. – Т. 40, № 6.- С.87–100. 13. Ковалев А.М. Об одном способе изображения предметов и группе линейных перспектив. / А. М. Ковалев // Автометрия. – 2009. – Т.45, № 2. – С. 36-44.

Bibliography (transliterated): 1. Raushenbach B. V. (1986). The system of perspective in visual arts. General theory of perspective. Science, Moscow. 2. Zenkin G. M, Petrov A. P. (1979). On the mechanisms of visual perception constancy of space. Sensing Systems. Science, Leningrad. 3. Kovalev A. M. (2002). On increase of objects in the perceptual space. Avtometriya, V. 38, №5. 4. Sharpless T. K., Postle B., German D. M. (2010). Pannini: a new projection for rendering wide angle perspective images. In Proceedings of the Sixth international conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging, 9–16. 5. Chang C., Hu M., Cheng W., Chuang Y. (2013). Rectangling Stereographic Projection for Wide-Angle Image Visualization. In Proceedings of ICCV, 2824–2831. 6. Brosz J., Carpendale S., Samavati F., Wang H., Dunning A. 2009. Art and Nonlinear Projection. In Bridges 2009: Mathematical Connections in Art, Music and Science. 7. Carroll R., Agrawala M., Agarwala A. (2009). Optimizing content-preserving projections for wide-angle images. ACM Trans. Graph. 28(3). 8. Zorin D., Barr A. H. (1995). Correction of geometric perceptual distortions in pictures. In SIGGRAPH '95, 257- 264. 9. Kubovy M. (1986). The Psychology of Perspective and Renaissance Art. Cambridge University Press. 10. Rauschenbach B. V. (1980). Spatial construction of a painting. Sketch of the basic methods. Annexes 1-9. Science, Moscow. 11. Kovalev A. M. (2007). On systems of perspectives for computer graphics. Avtometriya, vol. 43, № 3. 12. Kovalev A. M. (2004). Evaluation of distortion in displaying objects of perceptual space on the picture plane. Avtometriya, V. 40, № 6, 87-100. 13. Kovalev A. M. (2009). On a method of visualize objects and the group of linear perspective. Avtometriya, V. 45, № 2, 36-44.

Надійшла (received) 07.10.2014

УДК 621.3.078

Н. Я. ОСТРОВЕРХОВ, д-р техн. наук, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт";

Н. П. БУРИК, аспирант, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ВЕКТОРНО-УПРАВЛЯЕМЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Представлена электромеханическая система, которая обеспечивает слабую чувствительность к изменению параметров векторно-управляемого асинхронного электропривода, а также

© Н. Я. ОСТРОВЕРХОВ, Н. П. БУРИК 2014

осуществляет его динамическую декомпозицию. Алгоритмы управления получены при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий в соединении с концепцией обратных задач динамики в условиях неопределенности математической модели объекта. Регуляторы системы имеют нетиповую структуру и не содержат параметров объекта управления, что характерно для классических регуляторов. Из.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: электромеханика, электропривод, система, регулирование, параметры, вариация, функционал, качество.

Введение. Одной из проблем практического применения законов управления координатами электромеханических систем, полученных на основании методов классической теории автоматического управления, является необходимость наличия полной информации о структуре и параметрах математической модели объекта управления. Это обусловлено тем, что эти законы по своей природе являются законами компенсационного типа. Изменение параметров объекта или погрешность их определения обуславливают неопределенность его математической модели и приводят к ухудшению заданного качества управления, требуя дополнительных алгоритмов адаптации, что повышает сложность систем [1, 2].

Вторая проблема возникает при управлении взаимосвязанными и нелинейными объектами, например, при управлении двигателями переменного тока и механизмами со сложной кинематикой [3, 4]. В этом случае традиционные законы управления получаются в результате статической декомпозиции на относительно независимые подсистемы, введения дополнительных компенсирующих связей, эффективность которых снова зависит от точных значений параметров.

Целью работы является повышение качества управления координатами электромеханических систем в условиях неопределенности математической модели объекта путем разработки законов управления при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий в соединении с концепцией обратных задач динамики. Полученные законы управления обеспечивают слабую чувствительность к параметрическим возмущениям объекта и динамическую декомпозицию взаимосвязанной нелинейной системы.

Результаты исследований метода управления. В основу исследований положена идея обратимости прямого метода Ляпунова по исследованию устойчивости, что позволяет найти закон управления, при котором замкнутая система имеет наперед заданную функцию Ляпунова. Концепция обратных задач динамики позволяет решить современную проблему управления сложными объектами путем поиска управляющего воздействия по математической модели объекта, его первоначальному состоянию и заданной траектории движения. Поиск управляющих воздействий осуществляется при минимизации локальных функционалов, являющимися функциями Ляпунова, в качестве которых выступают мгновенные значения энергий [5, 6]. Характерной особенностью оптимизации является достижения не абсолютного минимума функционала качества, как в традиционных системах, а некоторого минимального значения, обеспечивающего допустимую по техническим условиям динамическую ошибку системы.

Метод управления координатами электромеханической системы излагается на типичном примере нелинейного и взаимосвязанного объекта – асинхронного двигателя с системой прямого векторного управления скоростью [7, 8]. Объект подвержен воздействию координатных и параметрических возмущений,

обусловленных перекрестными связями и изменением электрических сопротивлений обмоток в результате нагрева. Математическая модель асинхронного двигателя в синхронной системе координат, ориентированной по вектору потокосцепления ротора, представляется известной системой дифференциальных уравнений (1).

$$\begin{cases} \frac{di_{1d}}{dt} + \left(\frac{R_1}{\sigma} + \alpha\beta L_m\right)i_{1d} = \frac{u_{1d}}{\sigma} + V_{1d}; \\ \frac{di_{1q}}{dt} + \left(\frac{R_1}{\sigma} + \alpha\beta L_m\right)i_{1q} = \frac{u_{1q}}{\sigma} + V_{1q}; \\ \frac{d|\psi_2|}{dt} + \alpha|\psi_2| = \alpha L_m i_{1d}; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{J} - \frac{M_c}{J}; \end{cases} \quad (1)$$

где $\alpha = R_2 / L_2$, $\sigma = L_1 - L_m^2 / L_2$, $\beta = L_m / \sigma L_2$ – параметры модели; R_1 , R_2 – активное электрическое сопротивление обмотки статора и ротора; L_1 , L_2 , L_m – индуктивность обмотки статора, ротора и контура намагничивания; ω , ω_0 – угловая скорость ротора и магнитного поля; J – момент инерции двигателя; M_c – момент сопротивления; u_{1d} , u_{1q} – компоненты вектора напряжения статора; i_{1d} , i_{1q} – компоненты вектора тока статора; $|\psi_2|$ – модуль вектора потокосцепления

ротора; $M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} |\psi_2| i_{1q}$ – момент двигателя; p_n – число пар полюсов; $V_{1d} = \omega_0 i_{1q} + \alpha\beta |\psi_2|$, $V_{1q} = -\omega_0 i_{1d} - \beta\omega p_n |\psi_2|$ – возмущения, описывающие взаимное влияние координат. Эти возмущения трактуются как неопределенные, но ограниченные по величине $V_{1d} \leq V_{1d}^0$, $V_{1q} \leq V_{1q}^0$ [9]. Уровни управляющих воздействий являются достаточными для их компенсации $u_{1d} / \sigma > V_{1d}^0$, $u_{1q} / \sigma > V_{1q}^0$.

Задача управления объектом (1) сводится к решению четырех локальных задач управления: полевой и моментной составляющей тока статора i_{1d} и i_{1q} , модулем вектора потокосцепления ротора $|\psi_2|$, скоростью двигателя ω .

Закон управления полевой составляющей тока i_{1d} по каналу потокосцепления ротора определяется на основании первого уравнения системы (1). Как видно, локальный объект управления описывается уравнением первого порядка. Порядок желаемого уравнения замкнутого контура тока также принимается равным единице

$$\dot{z} + \gamma_{0d} z = \gamma_{0d} i_{1d}^* \quad (2)$$

с обеспечением астатизма первого порядка и заданной добротностью по скорости $D_{\omega}^z = \gamma_{0d}$. Длительность монотонного переходного процесса тока $t_{ii} \approx 3 / \gamma_{0d}$ задается с помощью коэффициента γ_{0d} .

Требуется найти такую управляющую функцию регулятора тока u_{1d} , чтобы качество управления током приближалось к желаемому, заданному уравнением (2). Степень приближения реального процесса управления током к желаемому оценивается функционалом, который характеризует нормированную

по индуктивности энергию первой производной магнитного поля вида $\dot{W}_m = L \frac{\dot{i}^2}{2}$

$$G(u_{1d}) = \frac{1}{2} [\dot{z}(t) - \dot{i}_{1d}(t, u_{1d})]^2. \quad (3)$$

Нахождение управляющей функции $u_{1d} = u_{1d}(\dot{i}_{1d})$ классическими методами по условию достижения абсолютного минимума функционала $\min_u G(u_{1d}) = 0$ приводит к традиционному закону управления компенсационного типа, для реализации которого требуется точная информация о структуре и параметрах объекта. Отклонение параметров от расчетных значений приводит к ухудшению качества управления. Этот недостаток устраняется, если отказаться от точного выполнения условия, а лишь ограничиться требованием, чтобы значение функционала (3) принадлежало некоторой окрестности экстремального минимума, обеспечивающей допустимую по техническим условиям динамическую ошибку $|z(t) - \dot{i}_{1d}(t)| \leq \varepsilon$. Для этого минимизация функционала осуществляется по градиентному закону первого порядка

$$\frac{du_{1d}(t)}{dt} = -\lambda_d \frac{dG(u_{1d})}{du_{1d}}, \quad (4)$$

где $\lambda_d > 0$ – константа.

С учетом (1) и (3) производная функционала равна

$$\frac{dG(u_{1d})}{du_{1d}} = -\frac{1}{\sigma} (\dot{z} - \dot{i}_{1d}). \quad (5)$$

После подстановки (5) в (4) находится закон управления током

$$\dot{u}_{1d}(t) = k_d (\dot{z} - \dot{i}), \quad (6)$$

где $k_d = \lambda_d / \sigma = \text{const}$ – коэффициент усиления регулятора тока.

Переменная $\dot{z}$ в законе управления (6) исполняет роль требуемой производной тока, которая определяется в реальном времени из уравнения желаемого качества (2) путем замыкания системы обратной связью по току $z = i_{1d}$. Окончательно закон управления током принимает вид после интегрирования обеих частей уравнения (6)

$$u_{1d}(t) = k_d(z - i_{1d})$$

$$z = \gamma_{0d} \int (i_{1d}^* - i_{1d}) dt \quad (7)$$

На основании (7) построена структурная схема регулятора тока первого порядка, показанная на рис. 1.

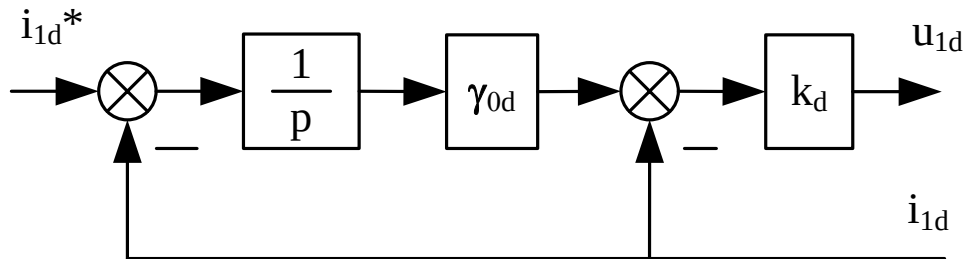


Рис. 1 – Структура регулятора тока первого порядка

Как видно из рис. 1, регулятор имеет нетиповую структуру, содержит только параметр γ_{0d} желаемого закона управления согласно (2) и не содержит параметров объекта управления (1), характерного для традиционных регуляторов.

Важной задачей синтеза является исследование устойчивости полученной системы управления. Уравнение замкнутого контура тока

$$\ddot{i}_{1d} + (R_1 / \sigma + \alpha \beta L_m + k_d / \sigma) \dot{i}_{1d} + (k_d \gamma_{0d} / \sigma) i_{1d} = (k_d \gamma_{0d} / \sigma) i_{1d}^*, \quad (8)$$

полученное после подстановки в первое уравнение объекта (1) закона управления (7), показывает, что замкнутая система (8) является устойчивой даже при неограниченном увеличении коэффициента усиления регулятора тока $k_d \rightarrow \infty$, так как согласно критерию Гурвица коэффициенты уравнения являются положительными

$$(R_1 / \sigma + \alpha \beta L_m + k_d / \sigma) > 0; \quad k_d \gamma_{0d} / \sigma > 0. \quad (9)$$

С увеличением коэффициента усиления регулятора динамические процессы в контуре тока приближаются к желаемым, заданным уравнением (2), что очевидно при $k_d \rightarrow \infty$ после деления всех членов уравнения (8) на составляющую k_d / σ .

Важным вопросом является также определение свойств контура тока при конечных значениях коэффициента усиления регулятора. Согласно передаточной функции разомкнутого контура тока, полученной на основании (8)

$$W_r(p) = \frac{k_d \gamma_{0d} / \sigma}{p[p + (R_1 / \sigma + \alpha \beta L_m + k_d / \sigma)]}, \quad (10)$$

токовый контур обладает заданным астатизмом первого порядка и добротностью по скорости равной

$$D_\omega = \frac{k \gamma_{0d} / \sigma}{R_1 / \sigma + \alpha \beta L_m + k_d / \sigma} = \frac{\gamma_{0d}}{R_1 / k_d + \alpha \beta L_m \sigma / k_d + 1}. \quad (11)$$

Условием обеспечения допустимой динамической ошибки тока является соизмеримая заданная и реальная добротность $D_\omega^z = D_\omega$, что выполняется при

увеличении коэффициента усиления регулятора k_d .

На основании второго, третьего и четвертого уравнения системы (1) по вышеизложенной методике определяется закон управления моментной составляющей тока статора i_{1q} , модулем вектора потокосцепления ротора $|\psi_2|$ и угловой скоростью электропривода. Контур потокосцепления ротора и контур скорости являются внешними относительно контуров тока. Для уменьшения влияния на их работу динамики внутренних контуров тока значение параметра уравнения вида (2) выбирается из условия $\gamma_{0d} > (3..5)\gamma_{0\psi}$. Полученные законы управления аналогичны закону (7). Структурные схемы регуляторов имеют вид, показанный на рис. 1.

Выводы. Метод разработки законов управления на основе минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий и концепции обратных задач динамики обеспечивает высокое качество управления в статическом режиме и во время переходных процессов в условиях действия параметрических и координатных возмущений. Закон управления записывается по уравнению объекта и по дифференциальному уравнению, с помощью которого задается желаемое качество управления координатой. На примере известной системы векторного управления скоростью асинхронного двигателя изложена методика получения законов управления.

Список литературы: 1. Akpolat, H. A Practical Approach to the Design of Robust Speed Controllers for Machine Drives [Text] / H. Akpolat, G. Asher // In IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2000. – Vol. 47. – № 2. – P. 315-324. 2. Apkarian, P. Robust modal controllers. New H_∞/μ synthesis structures [Text] / P. Apkarian, J. Morris // In Proceedings of the European Control Conference ECC'93, March 1-4, Netherlands. – 1993. – P. 1819-1825. 3. Birou, I. Sensorless AC Driving Systems Based on Adaptive Identification Algorithms and Robust Control Strategies [Text] / I. Birou, S. Pavel // In Proceedings of the 9th International Conference DAS'2008, May 22-24, Romania. – 2008. – P. 93-96. 4. Holtz, J. Sensorless Vector Control of Induction Motors at Very Low Speed Using a Nonlinear Inverter Model and Parameter Identification [Text] / J. Holtz, J. Quan // In IEEE Transaction on Industry Applications. – 2002. – Vol. 38. – № 4. – P. 1087-1095. 5. Крутько, П. Д. Робастно устойчивые структуры управляемых систем высокой динамической точности. Алгоритмы и динамика управления движением модельных объектов [Текст] / П. Д. Крутько // Изв. РАН. ТиСУ. – 2005. – № 2. – С. 120–140. 6. Островерхов, Н. Я. Управление координатами электроприводов на основании концепции обратных задач динамики при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий [Текст] / Н. Я. Островерхов, Н. П. Бурик // Электротехника и электроэнергетика. – Запорожье: ЗНТУ, 2011. – № 1. – С. 41-49. 7. Jezernik, K. Robust direct torque and flux vector control of induction motor [Text] / K. Jezernik // Proc. IECON'98. – 1998. – Vol. 2. – P. 667-672. 8. Nakano, H. Sensorless field oriented control of an induction motor using an instantaneous slip frequency estimation method [Text] / H. Nakano, I. Takahashi // PESC. – 1998. – P. 847-854. 9. Черноусько, Ф. Л. Методы управления нелинейными механическими системами [Текст] / Ф. Л. Черноусько, И. М. Ананьевский, С. А. Решмин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с. 10. Островерхов, Н. Я. Метод синтеза регуляторов электромеханических систем на основании концепции обратных задач динамики в соединении с минимизацией локальных функционалов мгновенных значений энергий движения [Текст] / Н. Я. Островерхов // Вестник НТУ „ХПИ”. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – № 30. – С. 105-110.

Bibliography (transliterated): 1. Akpolat, H., Asher, G. (2000). A Practical Approach to the Design of Robust Speed Controllers for Machine Drives. In IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.47, No.2, pp. 315–324. 2. Apkarian, P., Morris, J. (1993). Robust modal controllers. New

H_∞/μ synthesis structures. In Proceedings of the European Control Conference ECC'93, March 1-4, Netherlands, 1819–1825. **3.** Birou, I., Pavel, S. (2008). Sensorless AC Driving Systems Based on Adaptive Identification Algorithms and Robust Control Strategies. In Proceedings of the 9th International Conference DAS'2008, May 22-24, Romania, 93–96. **4.** Holtz, J., Quan, J. (2002). Sensorless Vector Control of Induction Motors at Very Low Speed Using a Nonlinear Inverter Model and Parameter Identification. In IEEE Transaction on Industry Applications, 38, 1087–1095. **5.** Krut'ko, P. D. (2005). Robustly stable structures of control systems of high dynamic precision. Algorithms and dynamics of control of model objects, Izvestija RAN. TiSU, 2, 120–140. **6.** Ostroverkhov, N. J. and Buryk, N. P. (2011). Control of coordinates electric drives based on the concept of inverse dynamics problems for minimization local functionals momentary values of energy. Electrotechnics and electroenergetics ZNTU, 1, 41–49. **7.** Jezernik, K. (1998). Robust direct torque and flux vector control of induction motor. Proc. IECON'98, 2, 667-672. **8.** Nakano, H. (1998). Sensorless field oriented control of an induction motor using an instantaneous slip frequency estimation method. PESC, 847-854. **9.** Chernous'ko, F. L., Anan'evskij I. M., Reshmin S. A. (2006). Methods of control nonlinear mechanical systems, Fizmatlit, Moscow. **10.** Ostroverkhov, N. J. (2008). Method for the synthesis of regulators of electromechanical systems based on of the concept of inverse problems of dynamics in combination with the minimization of local functionals of the instantaneous motion energy values. Vestnik NTU "KPI", 30, 105–100.

Надійшла (received) 09.10.2014

УДК 656.96:330.123.6

В. В. ОЧЕРЕТНА, аспірант, асистент, Одеський національний морський університет

ОБГРУНТУВАННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ В РОБОТІ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ КОМПАНІЇ

У статті розглянута ринкова стратегія транспортно-експедиторської компанії як об'єкту управління, розуміння її внутрішніх взаємозв'язків і механізмів функціонування. Обґрунтовується цілісна відкрита система компанії з певною внутрішньою організацією. А також розглядається рівень організації процесів, якість їх виконання, що впливають на кінцеві споживчі властивості транспортно-експедиторської послуги, які у свою чергу безпосередньо пов'язані з конкурентоспроможністю послуги.

Ключові слова: транспортно-експедиторська компанія, ринкова стратегія, конкурентоспроможність, ресурси, транспортування, послуга, консолідація.

Вступ. На ранньому етапі розвитку ринку послуг з доставки вантажів клієнт, вибираючи компанію, якій доручить доставку вантажу, найчастіше сам приймав рішення про те, яким видом транспорту необхідно виконати доставку і потім вибирав експедитора, працюючого з відповідним видом транспорту. Проте зі швидким розвитком і розширенням сфери діяльності експедиторів цей спосіб застарів і втратив актуальність. Клієнт часто залишає свободу вибору виду транспорту експедитору при дотриманні обумовлених якісних параметрів перевезення.

Сьогодні на ринку транспортно-експедиторських послуг дуже складно виявити явних лідерів, межі між лідерами та їх послідовниками дуже розмиті. Сьогоднішні лідери практично не мають переваг, які були б складно копіюваними для конкурентів. Саме тому, ті компанії, які сьогодні зможуть виявити перспективні ринкові ніші і зосередити на них свою діяльність,

передбачити зміни ринкового попиту і адаптувати під них свої внутрішні можливості, які зможуть одними з перших запропонувати ринку послугу, з такими характеристиками, за які споживач готовий дорого заплатити, в майбутньому займуть лідируюче положення.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Експедитор – це ключовий учасник ринку вантажоперевезень. Саме він, організовуючи відправку різних вантажів, бере на себе відповідальність за їх своєчасну і якісну доставку. Експедитор дозволяє вантажовідправникові отримати набір взаємодоповнюючих послуг з одного джерела, позбавивши від необхідності контактувати одночасно з безліччю підприємств. При цьому експедитор забезпечує транспортні компанії значними об'ємами перевезень, отримуючи за це знижки від офіційних тарифів і пільги від страхових компаній. В результаті істотно зменшується час простою і порожні пробіги транспорту. Експедитор вирішує проблеми не лише завантаження провізних місткостей перевізника, але і погоджує питання перевалки вантажу з одного виду транспорту на інший, проміжного зберігання і багато що інше.

Ускладнює роботу ринку послуг з доставки вантажів і той факт, що в конкурентному просторі є присутньою величезна кількість таких же експедиторських компаній надаючих аналогічні послуги. Рівний правовий статус і використовувана нормативна база не заважають компаніям вступати в жорстоку боротьбу за одних і тих же клієнтів та одні й ті ж самі вантажі.

У вільному ринковому просторі між собою конкурують компанії, які надають послуги або роблять товари, що задовольняють певні потреби клієнтів. Коректне уявлення про те, чи являється для однієї компанії конкурентом інша, не можна отримати, ґрунтуючись лише на правовому статусі компанії, формулювання предмета її договору або виді використовуваного транспорту.

Для підвищення стійкості конкурентних позицій транспортно - експедиторських компаній (ТЕК) потрібні інструменти, що дозволяють описати ринковий простір, в якому функціонує фірма, визначити її положення в ньому і виробити ефективну ринкову стратегію. Вдосконалення управління ринком транспортно - експедиторських компаній також вимагає розглядання ТЕК як ринкової - системи [1-2].

Ціль та задачі дослідження. Проведені дослідження ринкової стратегії ставили за мету розглянути фактори які впливають на конкурентоспроможність транспортно-експедиторської компанії як об'єкта управління з розумінням її внутрішніх взаємозв'язків і механізмів функціонування.

Ключовими задачами транспортно-експедиторської компанії являється вивчення поточної ринкової ситуації і прогнозування перспектив, розуміння структури ринку і характеру конкуренції, об'єктивна оцінка компаній, вибір вірної стратегії виступу на ринку, що забезпечує формування стійкої конкурентної переваги в довгостроковій перспективі. Виявлення основних цілей, стратегій і процесів експедиторської компанії. [3-4].

Матеріали та методи дослідження. У сучасній концепції управління транспортно-експедиторська компанія розглядається як система, що пристосована до задоволення певних громадських потреб. Компанію можна

представити у вигляді «чорного ящика», на вході якого подаються ресурси. У цьому чорному ящику ресурси перетворюють в товари або послуги, що продаються на ринку.

Компанія розглядається як цілісна відкрита система з певною внутрішньою організацією. Під системою розуміється сукупність елементів, взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою для досягнення спільної мети. Ця система є відкритою, оскільки схильна до впливу чинників зовнішнього середовища. Зовні в систему поступають для переробки ресурси, і в зовнішньому середовищі система реалізує свій кінцевий продукт. Головні передумови успіху лежать не лише усередині системи, але і зовні. Уміння вписуватися в зовнішнє середовище, адаптуватися до його змін, бачити і використовувати можливості, що відкриваються, передбачати загрози і протидіяти їм – усе це визначає успішність компанії на ринку.

Результати досліджень. Транспортно-експедиторська компанія, як посередник на ринку вантажоперевезень є виробником послуг. Серед послуг ТЕК можна виділити послуги з доставки вантажів за системою «від дверей до дверей» або на більш простих умовах різними видами транспорту, митне оформлення, страхування вантажів, супроводження та охорона вантажів до місця призначення, інформаційні, аналітичні, консультаційні послуги, брокерські послуги. На рис. 1 представлена концептуальна модель транспортно-експедиторської компанії як об'єкту стратегічного управління.



Рис. 1 – Транспортно-експедиторська компанія як об'єкту управління

Для того, щоб здійснити послугу, компанії необхідні:

- Трудові (людські) ресурси. Для компаній, що функціонують у сфері послуг, зокрема і для ТЕК, людський ресурс є найважливішим і найціннішим. Велика частина роботи експедиторської компанії складається з обробки інформації (аналізу і оцінки потреб клієнта та пошуку шляхів їх задоволення) і комунікацій з клієнтами, постачальниками та у середині компанії.

- Матеріально технічні ресурси. Зазвичай матеріальні ресурси враховують структуру основних фондів і обігових коштів компанії та технологічні ресурси.

- Фінансові ресурси. Ці ресурси окрім наявності реальних фінансових коштів, припускають також доступ до кредитів, інвестицій, спонсорської підтримки і т. д.

- Інформаційні ресурси. В умовах ринкової економіки цей вид ресурсів набуває особливу значущість. Уміння отримати достовірну інформацію про кон'юнктуру ринку, організацію збору і обробки інформації, доступ до бази даних багато в чому визначають конкурентоздатний потенціал компанії і її можливості для розвитку. Для ТЕК дуже важливо постійно відстежувати стан ринку і його елементів які впливають на діяльність компанії.

Сукупність ресурсів, наявних у розпорядженні компанії та уміння керівництва використати їх оптимальним чином для досягнення поставлених цілей формують стратегічний потенціал будь-якої компанії.

Ресурси, що подаються на вході, для їх перетворення в кінцевий ринковий продукт-послугу, піддаються дії різних процесів, що відбуваються усередині системи. У свою чергу процеси в компанії підпорядковані стратегії, яка вибрана для досягнення поставленої мети.

Типові процеси для ТЕК можна розділити на три групи:

- Процеси, пов'язані з продажем послуг і обслуговуванням клієнтів;
- Процеси, пов'язані з виробництвом основної і додаткових послуг;
- Допоміжні процеси, необхідні для функціонування компанії.

Процеси, пов'язані з продажем послуг і обслуговуванням клієнтів, включають: укладання договорів на транспортно-експедиторське обслуговування клієнтів; аналіз потреби клієнта і підготовка комерційної пропозиції; прийняття заявки на доставку вантажу і надання додаткових послуг; інформування клієнта про стан замовлення; рішення суперечних ситуацій з клієнтами та ін.;

Найбільша кількість процесів, пов'язано з виробництвом основної послуги і наданням додаткових послуг, таких як: прийом вантажу у клієнта; термінальна обробка вантажу; зберігання вантажу; консолідація; бронювання; оформлення страхування; доставка вантажів до аеропортів, залізничних станцій відправлення, терміналів перевізників; здача вантажу перевізникові; транспортування; отримання вантажів в пункті прибуття; расконсолідація (вантажорозподілення); доставка вантажу від терміналу прибуття до кінцевого вантажоодержувача; укладання договорів з постачальниками і т. д.

Рівень організації процесів, якість їх виконання впливають на кінцеві споживчі властивості транспортно-експедиторської послуги. У свою чергу споживчі властивості безпосередньо пов'язані з конкурентоспроможністю послуги.

Конкурентоспроможність продукції – це характеристика, що відокремлює її відмінність від продукції конкурента як по мірі відповідності конкретної громадської потреби, так і за витратами на її задоволення [5-6].

Розуміючи, в якій мірі той або інший процес впливає на певну властивість послуги і наскільки важлива ця властивість для споживача, компанія може управляти конкурентоспроможністю своїх послуг. Конкурентоспроможність продукції визначає її перевагу для покупця при вирішенні проблем. Для того, щоб послуга була продана на ринку, вона повинна задовольняти двом вимогам:

- Мати необхідні споживчі властивості, тобто бути корисною для споживання;
- Її придбання має бути економічно вигідніше покупцеві, ніж придбання аналогічної продукції іншого постачальника.

При оцінці економічної вигоди придбання не достатньо враховувати лише ціну. Необхідно також брати до уваги комерційні умови, а саме умови платежу і витрати покупця та послуги, що виникають в процесі використання. Витрати споживання послуги в основному пов'язані з трудовитратами покупця на взаємодію з постачальником (простота оформлення замовлення, швидкість прийому вантажу, спосіб отримання інформації про вантаж). Витрати споживання не завжди можна оцінити, аналізуючи лише заявлені постачальником характеристики послуги. На рівень витрат споживання впливають також і показники збереження вантажу, дотримання заявлених термінів доставки, зриви на етапах прийому вантажу або доставки. Ці показники можуть бути оцінені покупцем лише на основі досвіду співпраці з даним постачальником.

Слід зазначити якщо компанія робить висновок про необхідність перегляду властивостей і ціни послуги за підсумками падіння прибутковості, процес зниження конкурентоспроможності послуги зайшов вже занадто далеко. Щоб уникнути такого положення, компанія повинна займатися постійним моніторингом ринку і оцінюванням конкурентоспроможності своєї послуги. Це дозволить своєчасно вносити зміни, не чекаючи падіння продажів і прибутку.

Таким чином, управляти конкурентоспроможністю означає орієнтуватися на ринковий попит і забезпечувати виробництво послуг, комбінуючи оптимальне поєднання споживчих властивостей і ціни. Разом із споживчими властивостями і ціною існує ще один критерій, який допомагає споживачеві послуг зробити вибір на користь тієї або іншої компанії. Зважаючи на неможливість оцінки реальних споживчих властивостей послуги у момент купівлі, клієнт формує висновок на основі видимих ознак, що на його думку, відображують можливу якість послуги [7-10].

Обговорення результатів обґрунтування ринкової стратегії в роботі транспортно експедиторської компанії. Ринкова стратегія в роботі транспортно-експедиторської компанії для різних країн і різних ринкових умов, оптимальне поєднання між складовими конкурентоспроможності може помітно відрізнятися. При високому рівні платоспроможності пріоритет зміщується у бік купівлі дорожчої послуги, але здатної в найкращій мірі задовольняти потреби, при низькому рівні – на перший план виступає ціна. Рівень платоспроможного попиту на ринку транспортно-експедиторських послуг залежить від економічного

стану компаній і галузей які споживають ці послуги. На українському ринку ще зовсім недавно визначальним чинником була ціна. Для більшості галузей вона і зараз являється якщо не визначальним, то одним з найважливіших чинників. В той самий час бурхливе зростання компаній деяких галузей, а саме телекомунікаційних компаній, товарів народного споживання, підвищення їх оборотів і рентабельності привели до того, що при виборі постачальника транспортно-експедиторських послуг в першу чергу оцінюються такі параметри як комплекс послуг, якість їх виконання, надійність постачальника, а вже потім ціна. З іншого боку, компанії представники менш благополучних галузей як і раніше готові брати на себе значні ризики, що виникають при роботі з маловідомими і ненадійними постачальниками, заради нижчої ціни.

Висновки. Транспортно-експедиторська компанія є відкритою виробничою системою, усередині якої під впливом певних процесів ресурси перетворюються в послуги, що продаються на ринку. Ключовими ресурсами в транспортно-експедиторській роботі являються висококваліфікований персонал компанії з його знаннями, досвідом та інформацією. Наявність і величина матеріальних активів (терміналів, транспорту і тому подібне) не грають такої значимої ролі в досягненні успіху в сфері діяльності, що вивчається. В цілому від якості ресурсів і виконання процесів залежать споживчі властивості отримуваної на виході послуги і відповідно конкурентоспроможність компанії.

Список літератури: 1. Артамонов, Б. В. Стратегия управления авиапредприятием [Текст] / Б. В. Артамонов. – Н. Новгород: Талам, 2002. – 128 с. 2. Артамонов, Б. В. Организация перевозки грузов на воздушном транспорте [Текст] : уч. пос. / Б. В. Артамонов, Л. П. Волкова. – М.: МГТУ ГА, 1999. – 96 с. 3. Терешина, Н. П. Экономическое регулирование и конкурентоспособность перевозок [Текст] / Н. П. Терешина. – М.: Железнодорожный транспорт, 1994. – 132 с. 4. William, M. Marketing (International Edition) [Electronic resource] / M. William, O. C. Pride Ferrell. – Houghton MIFFLIN Company Boston, 1995. – Available at: <http://trove.nla.gov.au/work/28296078>. 5. Edvinsson, L. Intellectual Capital. Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower [Text] / L. Edvinsson, M. S. Malone. – New York , Harper Business, 1997. 6. Boulding, W. A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectation To Behavioral Intentions [Text] / W. Boulding // Journal of Marketing Reseach. – 1993. – Vol. 30. – P. 7–27. 7. Lobo, A. Port users perspective of the container transshipment business [Text] / A. Lobo, J. Vivec // Proceedings of the International Conference on Port and Maritime R&D and technology. Singapore, 2001. 8. Fisk, R. Tracking the Evolution of Services Marketing Literature [Text] / R. Fisk, S. Brown, M. Bitner // Journal of Retailing. – 1993. – Vol. 69, Issue 1. 9. Асташкин, В. А. Совершенствование функционирования транспортно – экспедиторских предприятий [Текст] / В. А. Асташкин. – М., 2004. – 142 с. 10. Zeithaml, V. How Consumer Evaluation Processes Differ Between Goods and Services [Text] / V. Zeithaml; In J. H. Donnelly, W. R. George. – Marketing of Services, 1981. – P. 186–190.

Bibliography (transliterated): 1. Artamonov, B. V. (2002). Strategija upravljenja aviapredpriatiem. Novgorod: Talam, 128. 2. Artamonov, B. V., Volkova, L. P. (1999). Organizacija perevozki gruzov na vozduzhnom transporte. Moscow: MGTU GA, 96. 3. Tereshina, N. P. (1994). Jekonomicheskoe regulirovanie i konkurentosposobnost' perevozok. Moscow: Zheleznodorozhnyj transport, 132. 4. William, M., Pride Ferrell, O. C. (1995). Marketing (International Edition). Houghton MIFFLIN Company Boston. Available at: <http://trove.nla.gov.au/work/28296078>. 5. Edvinsson, L., Malone, M. S. (1997). Intellectual Capital. Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower. New York , Harper Business. 6. Boulding, W. (1993). A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectation To Behavioral Intentions. Journal of Marketing Reseach, 30, 7–27.

7. Lobo, A., Vivec, J. (2001). Port users perspective of the container transshipment business. Proceedings of the International Conference on Port and Maritime R&D and technology. Singapore.
8. Fisk, R., Brown, S., Bitner, M. (1993). Tracking the Evolution of Services Marketing Literature. Journal of Retailing, 69 (1).
9. Astashkin, V. A. (2004). Sovershenstvovanie funkcionirovaniya transportno – jekspeditorskih predpriyatij, Moscow, 142.
10. Zeithaml, V.; In: Donnelly, J. H., George, W. R. (1981). How Consumer Evaluation Processes Differ Between Goods and Services. Marketing of Services, 186–190.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 004.32; 004.48; 004.45; 004.82

Ж. Ю. ЗЕЛЕНЦОВА, инженер, Одесский национальный экономический университет;

Е. О. ЙОНА, соискатель, Одесский национальный экономический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ЕДИНОГО ВХОДА. ЧАСТЬ 2: ОРГАНИЗАЦИЯ ЕДИНОГО ДОСТУПА В ПОДСЕТИ

Предлагается технологическое решение задачи идентификации пользователей при их доступе к мультисервисным системам. Показывается, что решение может привести к снижению количества применяемых адаптивных (интеллектуальных) методик процесса IAM в современных ИТ-платформах. Акцентируется внимание на том, что предлагаемый подход актуален для решения проблемы гипер-подключенности в подсетях, для которых характерно большое количество данных, устройств и пользователей.

Ключевые слова: системы единого входа, организация доступа, Single Sign-On, iGenotype, e-passport

Введение. Технология единого входа SSO (англ.: *Single Sign-On* [SSO]) – одна из технологий, относящихся к широкому классу систем управления идентификацией и доступом пользователей (англ.: *Identity management and access* [IAM]) к ресурсам информационных систем и сетей. Основное отличие SSO от других технологии состоит в совмещении процессов идентификации (ID) и аутентификации (AuthN) с единой точкой отказа [1]. Эту технологию на сегодняшний день реализует ряд производителей VMware, Google, Pay Pal. Ими отмечается ряд проблемных вопросов и уязвимостей архитектурного уровня, которые непременно будут оказывать значительное влияние на процесс развития информационных систем при текущих признаках цифровой вселенной (англ.: *Digital Universe* [DUn]), о чём свидетельствует стабильный рост количества пользователей, устройств, данных, а также при расширении сервисных возможностей сети [2-4]. Основные положения по этому вопросу, изложены в [5].

Целью работы является разработка предложений по созданию модели системы идентификации и обеспечения доступа с единым входом, которая может быть адаптирована к текущим особенностям современных сервисных структур, что готовятся к повсеместному использованию рядом производителей ИТ-систем.

Результаты исследования: Организация и модель SSO. Предлагаемая к анализу тема рассматривалась в рамках задачи организации единого входа в

сервисной подсети [6]. Как подчеркивается в [6-9], для современной сетевой инфраструктуры свойственно большое количество пользователей, устройств и данных. Стремительно растет количество низкопроизводительных устройств типа *Internet of Things* [IoT] или «интернет-вещей». Исследование особенностей организации систем единого входа и общая модель представления данных и идентификации в сервисных подсетях, приведены авторами в [5]. Учитывая это, рассмотрим организацию характера доступа.

Согласно модели IAM, процесс, который следует после идентификации IdM, это процесс предоставления доступа AM (англ.: *Access Management* [AM]), который часто называют процессом *управления доступом*. Суть его состоит из совмещения AuthN и AuthZ. При этом доступ в мультисервисную подсеть может быть организован двумя способами.

Основной способ состоит в разделении процесса идентификации на два этапа. Первый из них предполагает распознавание пользователя в сервисной подсети. После этого пользователь может осуществить вход в подключенные сервисы, что организовывается с помощью встроенного менеджера паролей.

Эффективная функциональность систем с такой процедурой доступа в составе глобальных платформ спорна, т.к. множество точек доступа порождает такое же количество уязвимостей и, в целом, снижает безопасность системы.

Второй способ, который на сегодняшний день получает активное внедрение, состоит в применении методики единого входа – Single Sign-On. При этом предполагается, что предложенная в [5] «бесшовная» архитектура сервисных подсетей имеет соответствующие интерфейсы интеграции. Кроме того, подразумевается, что пользователи работают в пределах облачных структур. В таком случае, прежде всего, «облако»-обертка может встраивать новый сервис и подключаться к шине сервисов в программно-конфигурируемой сети топологии «cloud-to-cloud». Эта сеть предоставляет сервисный слой виртуализации, который доступен пользователям, посредством интеграционного интерфейса. Учитывая это, в интеграционных настройках кросс-системы интеграционной платформы, пользователем должны быть установлены параметры доступа к сервису. Эти «пользовательские» параметры идентификации будут автоматически согласованы с внутрисистемными моделями идентификации интеграционной платформы. Далее доступ во все сервисы будет установлен автоматически.

Далее предлагаемая двухэтапная модель идентификации

$$IAM = IAM_{pub} + IAM_{pers}$$

не противоречит изложенному подходу, что подтверждается анализом на рис. 1, на котором приведена диаграмма деятельности по идентификации и обеспечении доступа к сервисным подсетям.

По оценке Forrester Research – независимой аналитической компании, которая занимается исследованиями рынка информационных технологий, общий тренд продуктов IAM предполагает интеллектуальную обработку информации с упрощением процесса доступа. Но при этом особо отмечается, что должны быть соблюдены все параметры безопасности и организацией единого входа во все сервисные подсистемы [6-10]. Продукты, подобные IAM, оценены компанией, как лучшие на рынке. Отмечается, что они готовы к внедрению и предлагаются

такими производителями, как Aveksa, CA Technologies, Courion, Dell, IBM, NetIQ, Oracle, Ping Identity, и SecureAuth.

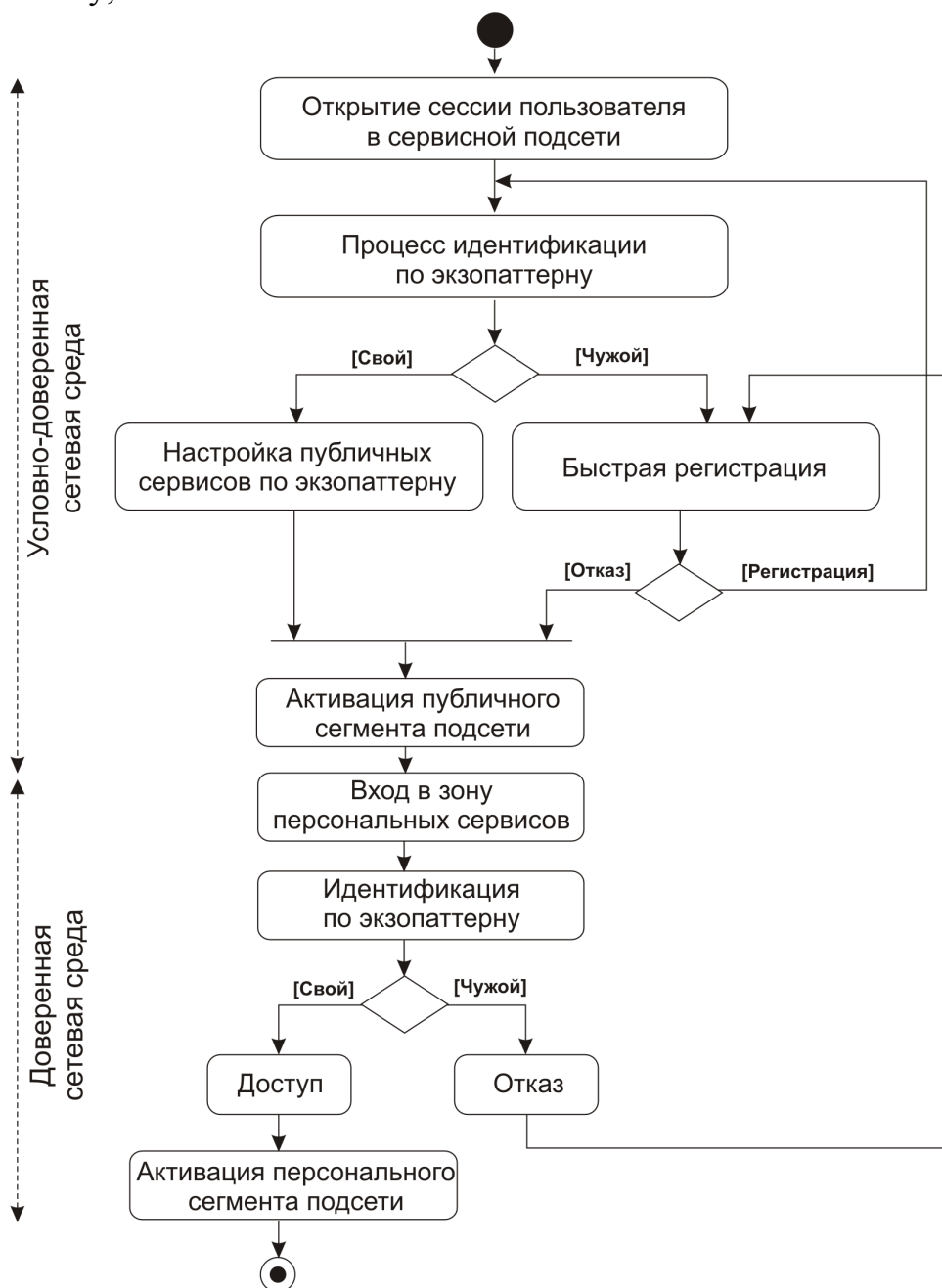


Рис. 1 – Диаграмма деятельности по двухэтапной идентификации по эндо- и экзопаттернам [5] и обеспечении доступа в подсети в условно-доверенные и доверенные сетевые сегменты на основе доступных данных о пользователе

Следующая проблема по отношению к AuthN и AuthZ – интеллектуальность. Учёт параметров интеллектуальности, это достаточно общая оценка методики идентификации, т.к. прежде всего, речь идет об обработке косвенных данных, а именно – внешних паттернов идентификации, на основании которых проводится предварительное распознавание [11]. Традиционно рабочие паттерны объединяются в модели – роли, предполагающие избирательность и гибкость идентификации и организации доступа. Эти методы известны как *метод управления доступом* на основе ролей (англ. *Role Based Access Control [RBAC]*).

Они применяются при использовании метода мандатного доступа (англ. *Mandatory access control* [MAC]). Последний метод, например, рекомендован Федеральной службой по техническому и экспортному контролю РФ для систем, которые оперируют данными, относящимися к государственной тайне [12].

Для реализации отмеченных целей могут быть применены методы распознавания на базе нечеткой логики. При этом адаптивность может быть обеспечена на основе использования марковских процессов принятия решений [13].

Как было показано в модели iGenotype [5], для каждого пользователя характерно наличие ряда собственных персональных и мобильных устройств, которые могут быть идентифицированы в мультисервисной системе по тем или иным признакам по отношению к владельцу. Это же положение можем распространить на данные специальных типов, т.е. на официальные, социальные, виртуальные, а также на данные, которые описывают «цифровую тень» и «цифровой след».

Представим предлагаемую модель представить в виде математического словесного описания:

Модель iGenotype связанных данных пользователя может быть представлена в виде кортежа длины «3» – $iG : \langle IO, Dev, Data_{iG} \rangle$, где IO – набор официальной информации о сетевом пользователе, Dev – связанные устройства, $Data_{iG}$ – связанные с пользователем сетевые данные. По аналогии определим связанные с устройствами данные $iG_{dev} : \langle Dev, IO_{dev}, Data_{Dev} \rangle$, где $IO_{dev}, Data_{Dev}$ – данные, связанные с устройством. Также введём определение о сетевых данных и связанных с ним устройствах и владельцах – $iG_{data} : \langle Data, IO_{data}, Dev_{data} \rangle$. В общем случае это может быть описано, как $\langle Dev, iG_{dev} \rangle$ и $\langle Data, iG_{data} \rangle$.

Удовлетворение требований внутренних паттернов идентификации может быть применено в защищенной зоне интеграционной платформы с высоким уровнем доверия, например, в интерфейсе финансовых сервисов. Двухуровневый подход управлением доступом пользователя в зонах низкого и высокого уровня доверия разрешает и проблему организации безусловного доступа в сеть «в любой точке мира, с любого устройства и любого человека». При этом такой подход упрощает доступ к любым публичным сегментам. В общем виде его можно считать модификацией комплекса, состоящего из мандатного и ролевого подходов.

Отметим, что интерфейсы единого входа часто называют сетевой экосистемой. Это также подразумевает дружелюбность интерфейса по отношению к пользователю. Очевидно, что, несмотря на возможности полного контроля действий пользователя в сети и решения проблемы охраны правопорядка в сети, должны существовать определенные правовые рамки, которые обеспечат неприкосновенность личной жизни как одну из основ демократического сообщества.

Выводы. Рассмотрены цифровые возможности обеспечения функций государства в интернет-сегменте, которые относятся к идентификации и аутентификации пользователей при их доступе к государственным облачным

структурам. Кроме того, следует отметить, что вопрос также актуален для зон социальных отношений нового поколения, которые оформились в отдельную общественную структуру в последние десятилетия. С целью организации SSO, предложена модель идентификации и предоставления доступа в сервисных подсетях «облачного» типа с единым входом благодаря «сквозным» вычислениям с использованием адаптивных методик идентификации. При этом учтено, что рассматриваемые подсети являются частным случаем более широкого класса систем, так как конвергентная инфраструктура подразумевает «бесшовную» архитектуру.

Предложенный подход связанных данных о пользователях на основе эндо- и экзопаттернов, с учётом результатов из [5], могут унифицировать процесс идентификации в сервисных подсетях и свести его к определенным SLA-запросам в сервис-ориентированной архитектуре. Это позволит применить его в государственных подсетях, где развиваются новые модели доставки сервисов: Government to Citizens & Citizens to Government, Government to Businesses & Businesses to Government, Government to Employees, Government to Government. Подход может быть применён для сетевых е-паспортов пользователей.

Список литературы: 1. The Hyperconnected World: A New Era of Opportunity, White Paper, Akamai [Электронный ресурс] // Портал : akamai.com. – Режим доступа \www/ URL: http://www.akamai.com/dl/akamai/hyperconnected_world.pdf. – Заглавие с контейнера, доступ свободный, 13.12.2013. 2. Зеленцова, Ж. Ю. Конвергенция глобальной сети как новый этап развития: обзор инфраструктурных решений и технологий с целью нахождения решений для повышения безопасности обработки данных при облачных вычислениях [Текст] / Ж. Ю. Зеленцова, Н. Ф. Казакова // Інформаційна безпека. — 2013. — № 4 (12). — С. 23-40. 3. Зеленцова, Ж. Інфраструктурні рішення та технології підвищення безпеки обробки даних при хмарних обчисленнях [Текст] / Ж. Зеленцова, Н. Казакова // Захист інформації і безпека інформаційних систем : III міжнар. наук.-техн. конф., 5-6 червня 2014 р. : матер. конф. — Львів, НУ «Львівська політехніка. — С. 58-59. 4. Луговой, А. В. Эра мегаданных. Состояние и эволюция мирового информационно-вычислительного пространства [Текст] / А.В. Луговой А.В, Ж.Ю. Зеленцова, О.В. Луговая // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. — 2012. — Вип.1/2012 (72). Часть 1. — С.36-42. 5. Зеленцова, Ж. Ю. Исследование особенностей организации систем единого входа. часть 1: модель представления данных и идентификации в сервисных подсетях [Текст] // Ж. Ю. Зеленцова, Е. О. Йона // Вісник національного технічного університету "ХПІ". — 2014. — № 40(1083). — С. 66-74. 6. Global Internet Traffic Projected to Quadruple by 2015, Press Release, Cisco, 2011 [Электронный ресурс] // Портал : cisco.com. – Режим доступа \www/ URL: <http://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=324003>. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 26.09.2013. 7. Internet of things: \$8.9 trillion market in 2020, 212 billion connected things, ZDNet, October 3, 2013 [Электронный ресурс] // Портал : zdnet.com. – Режим доступа \www/ URL: <http://www.zdnet.com/internet-of-things-8-9-trillion-market-in-2020-212-billion-connected-things-7000021516/>. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 12.12.2013. 8. Florentine Sh., Olavsrud Th. Forecast for Cloud Computing, CIO, December 2013 [Электронный ресурс] // Портал : cio.com. – Режим доступа \www/ URL: http://www.cio.com/article/745155/2014_Forecast_for_Cloud_Computing. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 18.03.2014. 9. Identity management solution that automates and streamlines access governance [Электронный ресурс] // Портал : Dell. – Режим доступа \www/ URL: <http://software.dell.com/products/identity-manager/>. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 30.12.2013. 10. Cser An., Maler E., Balaouras St., Belanger H. The Forrester Wave™: The Forrester Wave™: Identity And Access Management Suites, Q3 2013 [Электронный ресурс] // Портал : forrester.com. – Режим доступа \www/ URL:

<http://www.forrester.com/The+Forrester+Wave+Identity+And+Access+Management+Suites+Q3+2013/fulltext/-/E-RES99281>. – Заглавие с контейнера, доступ платный, 16.03.2014. **11.** Haggard J. History of SSO - a perspective from the original front lines, SingleSign-OnSummit, 2008 [Электронный ресурс] // Портал : ssosummit. com. – Режим доступа \www/ URL: <http://www.ssosummit.com/ssosummit/upload/2008-SSOSummit-John-Haggard-Presentation.pdf>. – Заглавие с контейнера, доступ свободный, 18.03.2014. **12.** Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. Руководящий документ от 30 марта 1992 г. [Электронный ресурс] // Портал : ФСТЭК. – Режим доступа \www/ URL: [http://fstec.ru / component/ content/article/114-deyatelnost/tekushchaya/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/normativnye-i-metodicheskie-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g](http://fstec.ru/component/content/article/114-deyatelnost/tekushchaya/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/normativnye-i-metodicheskie-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g). – Заглавие с экрана, доступ свободный, 28.12.2013. **13.** Казакова, Н. Ф. Автоматизация процессу адаптації інформаційних систем до інцидентів інформаційної безпеки [Текст] / Н. Ф. Казакова, Є. В. Вавілов // Інформаційна безпека. — Луганськ : ЧНУ ім. В. Даля. — 2013. — №4(12). — С. 49-56. — ISSN 2224-9613.

Bibliography (transliterated): **1.** The Hyperconnected World: A New Era of Opportunity, White Paper, Akamai. http://www.akamai.com/dl/akamai/hyperconnected_world.pdf. **2.** Zelencova, Zh. Ju., Kazakova, N. F. (2013). Konvergencija global'noj seti kak novyj jetap razvitija: obzor infrastrukturyh reshenij i tehnologij s cel'ju nahozhdenija reshenij dlja povyshenija bezopasnosti obrabotki dannyh pri oblachnyh vychislenijah. Informacijna bezpeka, 4 (12), 23-40 (in russian). **3.** Zelencova, Zh. Ju., Kazakova, N. F. (2014). Infrastrukturni rishennja ta tehnologii pidvishhennja bezpeki obrobtiki danih pri hmarnih obchislennjah. Zahist informacii i bezpeka informacijnih sistem, Ukraine, Lviv, National University «Lviv Polytechnic», 2014.06.06, proc. of conf., 58-59 (in ukrainian). **4.** Lugovoj, A. V., Zelencova, Zh. Ju., Lugovaja, O. V. (2012). Jera megadannyh. Sostojanie i jevoljucija mirovogo informacionno-vychislitel'nogo prostranstva. Visnyk Kremenuch'kogo nacional'nogo universytetu imeni Myhajla Ostrograds'kogo, 1 (72), v. 1, 36-42 (in russian). **5.** Zelencova, Zh. Ju., Jona, E. O. (2014). Issledovanie osobennostej organizacii sistem edinogo vhoda. Chast' 1: Model' predstavlenija dannyh i identifikacii v servisnyh podsetjah (2014). Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu "HPI", 40 (1083), 66-74 (in russian). **6.** Global Internet Traffic Projected to Quadruple by 2015, Press Release, Cisco, 2011. <http://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=324003>. **7.** Internet of things: \$8.9 trillion market in 2020, 212 billion connected things, ZDNet, October 3, 2013. <http://www.zdnet.com/internet-of-things-8-9-trillion-market-in-2020-212-billion-connected-things-7000021516/>. **8.** Florentine, Sh., Olavsrud, Th. Forecast for Cloud Computing, CIO, December 2013. http://www.cio.com/article/745155/2014_Forecast_for_Cloud_Computing. **9.** Identity management solution that automates and streamlines access governance. <http://software.dell.com/products/identity-manager/>. **10.** Cser, An., Maler, E., Balaouras, St., Belanger, H. The Forrester Wave™: The Forrester Wave™: Identity And Access Management Suites, Q3 2013. <http://www.forrester.com/The+Forrester+ Wave+Identity+ And+Access+Management+Suites+Q3+2013/fulltext/-/E-RES99281>. **11.** Haggard, J. History of SSO – a perspective from the original front lines, SingleSign-OnSummit, 2008. <http://www.ssosummit.com/ssosummit/upload/2008-SSOSummit-John-Haggard-Presentation.pdf>. **12.** Avtomatizirovannye sistemy. Zashchita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Klassifikacija avtomatizirovannyh sistem i trebovanija po zashchite informacii. Rukovodjashchij dokument ot 30 marta 1992 g. <http://fstec.ru/component/content/article/114-deyatelnost/tekushchaya/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/normativnye-i-metodicheskie-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g> (in russian). **13.** Kazakova, N. F., Vavilov, Je. V. (2013). Avtomatyzacija procesu adaptacii' informacijnyh system do incydentiv informacijnoi' bezpeky. Informacijna bezpeka, 4(12), 49-56 (in ukrainian).

Надійшла (received) 10.10.2014

О. В. СТРОКАНЬ, канд. техн. наук, доц., Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь

ПРОГРАМНО-ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ МІКРОКЛІМАТУ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕННІ

Запропоновано програмно-інформаційну систему оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні, головною задачею якої є видання рекомендацій щодо кількості встановлених аероіонізаторів у заданому приміщенні і забезпечення нормованих показників таких параметрів мікроклімату робочого приміщення, як температура і концентрація від'ємних аероіонів. Запропонована система функціонує на базі програмного забезпечення. Інформаційне вікно користувача системи має зручний і простий інтерфейс, за допомогою якого користувач має змогу спостерігати за поточним значенням температури і концентрації від'ємних аероіонів у виробничому приміщенні. Из.: 5. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: мікроклімат, програмне забезпечення, температура, аероіонізаційний режим, аероіонізатор, управляючий вплив, система.

Вступ. Суттєвий вплив на стан організму людини, його працездатність чинить мікроклімат у виробничих приміщеннях. Всесвітня організація здоров'я (ВОЗ) ставить досить жорсткі вимоги до додержання нормованих показників мікроклімату у виробничих приміщеннях, особлива увага приділяється показникам температурного та аероіонізаційного режиму [1]. При значеннях параметрів повітряного середовища виробничого приміщення, що виходять за межі нормованих показників, спостерігається погіршення самопочуття і здоров'я людей, які в ньому знаходяться: з'являється сонливість, швидка втомлюваність, роздратованість, послаблення імунітету і т.д. Зниження негативного впливу мікроклімату на організм людини можливе за рахунок використання пристроїв для забезпечення нормованих показників мікроклімату у виробничому приміщенні, які б функціонували на базі мікропрограмного управління.

Метою роботи є розробка способу забезпечення нормованих показників робочого середовища, який дозволив би автоматизувати процес виробітку і реалізації управляючих впливів на засоби забезпечення мікроклімату у відповідності з прийнятими критеріями управління, в якості яких прийнята величина температури і рівень концентрації від'ємних аероіонів.

Методика експериментів. На основі теоретичних досліджень розповсюдження концентрації від'ємних аероіонів від штучних розсіювальних джерел аероіонного випромінювання [2-4, 11] за допомогою методів математичного моделювання, співставлення і аналізу отриманні закономірності цього розповсюдження на горизонтальній площині при різноманітних формах робочої зони або приміщення. Отримані результати послугували основою для отримання закономірностей розповсюдження концентрації від'ємних аероіонів від штучних джерел направлено аероіонного випромінювання. Процес розповсюдження аероіонного випромінювання змодельовано у середовищі математичного процесора Maple з метою візуалізації і прогнозування даного явища.

Обговорення результатів. Перед програмно-інформаційною системою оптимізації мікроклімату виробничого приміщення ставляться задачі виконання інформаційної, управляючої і допоміжної функції. Інформаційна функція системи полягає у зборі, зберіганні і видачі інформації про стан параметрів повітряного середовища виробничого приміщення – величини температури і концентрації від’ємних аероіонів. Вміст управляючої функції є виробітка рішень і реалізація управляючих впливів на технічні засоби забезпечення параметрів мікроклімату – кондиціонера та аероіонізатора (штучного джерела аероіонного випромінювання). До допоміжних функцій відносяться такі, які забезпечують вирішення внутрішньосистемних задач і призначенні для забезпечення власного функціонування (забезпечення заданого алгоритму функціонування, контроль стану тощо). Також додатково до системи висувається вимога щодо можливості вибору кількості і потужності штучних джерел направлено аероіонного випромінювання в залежності від геометричних розмірів робочої зони.

Пропонована система повинна забезпечувати у будь якій точці приміщення рівень концентрації від’ємних аероіонів у межах:

$$n_{\text{зад.макс}} \geq n_{\text{розр}} \geq n_{\text{зад.мін}}, \quad (1)$$

де $n_{\text{пот}}$ - поточне значення концентрації аероіонів, іон/см³;

$n_{\text{зад.макс}}$ - задана максимальна гранично допустима концентрація аероіонів у робочій зоні, іон/см³;

$n_{\text{зад.мін}}$ - задана мінімальна гранично допустима концентрація аероіонів у робочій зоні, іон/см³,

і параметри температурного режиму:

$$t_{\text{зад.макс}} \geq t_{\text{пот}} \geq t_{\text{зад.мін}}, \quad (2)$$

де $t_{\text{пот}}$ - поточне значення температури, °С;

$t_{\text{зад.макс}}$ - задана максимальна гранично допустима температура, °С;

$t_{\text{зад.мін}}$ - задана мінімальна гранично допустима температура, °С.

Враховуючи зазначені функціональні вимоги система оптимізації мікроклімату виробничого приміщення складається з блоків, взаємозв’язок між якими показаний на рис. 1.

Блок проектування видає рекомендації щодо кількості штучних джерел направлено аероіонного випромінювання відповідної потужності, які необхідно встановити у приміщення з геометричними розділами А (ширина) і В (довжина). Принцип вибору кількості аероіонізаторів міститься у наступному.

Розподілення негативних аероіонів від джерела направлено аероіонного випромінювання зручніше за все представляти у вигляді ліній однакової концентрації аероіонів – ізоліній [2].

Розподілення негативних аероіонів від джерела направлено аероіонного випромінювання на відстань описується виразом [2, 11]:

$$n_{A_i} = n_0 2^{\frac{h}{K_H}}, \quad (3)$$

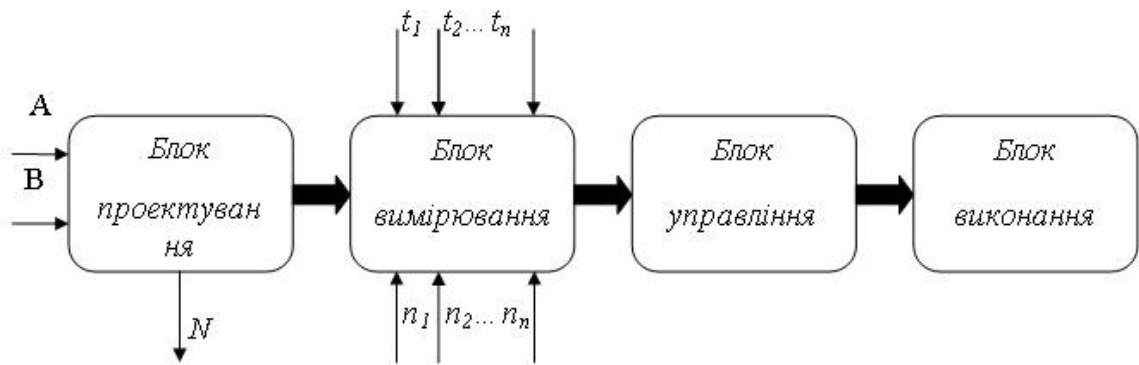


Рис. 1 – Складові системи оптимізації мікроклімату виробничого приміщення

де n_{Ai} - концентрація аероіонів у розрахунковій точці ізолінії, іон/см³;

n_0 - сила випромінювання джерела, іон/см³;

h - траєкторія шляху аероіона від джерела аероіонного випромінювання до заданого шару повітря робочої зони, м;

K_H - коефіцієнт, що характеризує змінення величини концентрації аероіонів у два рази при зміні відстані на один метр.

Рівень концентрації від'ємних аероіонів від двох джерел направленого аероіонного випромінювання у точці, інцидентній заданій ізолінії концентрації аероіонів, дорівнює сумі концентрацій, якій створюють у цій точці кожний з джерел. В результаті маємо ізолінії, наведені на рис. 2, де: N_1 – перше джерело, N_2 – друге джерело.

Картина розподілення концентрації від'ємних аероіонів від штучних джерел аероіонного випромінювання дає змогу наочно визначити зони аероіонного комфорту і дискомфорту, а також прогнозувати процес цього розподілу.

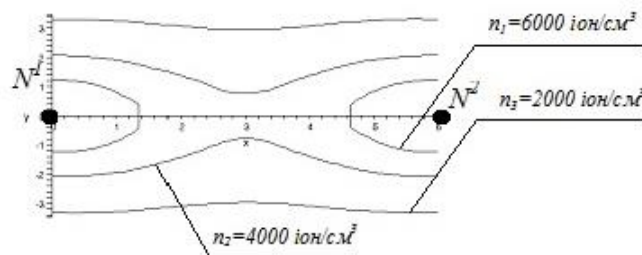


Рис. 2 - Моделювання розподілення концентрації аероіонів від двох джерел направленого аероіонного випромінювання

На основі приведених вимог і закономірностей розроблено програмне забезпечення для блоку проектування. Для зручності використання результат роботи програмного продукту представлений у вигляді робочого вікна (рис. 3).

Користувач має змогу задавати геометричні параметри робочого приміщення та інтенсивність випромінювання штучного джерела аероіонів і отримувати рекомендації щодо кількості джерел аероіонів, які необхідно встановити у цьому приміщенні.

Параметри приміщення

Іонізація: 2000 cm³

Ширина: 2 m

Довжина: 2,7 m

Кількість джерел випромінювання: 1

Продовжити

Рис. 3 – Головне вікно блоку проектування

Блок вимірювання (рис. 1) призначений для вимірювання поточного значення температури $t_1, t_2, \dots, t_n$ і концентрації від'ємних аероіонів $n_1, n_2, \dots, n_n$, отриманого від первинного вимірювача температури та іонометра. Інформація про поточний стан параметрів мікроклімату передається на блок управління, який являє собою, власне, управляючу програму. Управляюча програма обробляє отриману від блоку вимірювання інформацію і видає відповідний управляючий вплив на блок виконання. До блоку виконання входять виконавчі прилади: кондиціонер – для забезпечення заданого температурного режиму, джерело від'ємних аероіонів (аероіонізатор) – для забезпечення заданого іонізаційного режиму у приміщенні.

Алгоритм функціонування системи оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні міститься у наступному. На початку кожного циклу управління виконується опитування вимірювальних приладів, далі отримані показники порівнюються з нормованими значеннями температури і концентрації від'ємних аероіонів. В результаті виробляється управляючі впливи, які надходять на виконавчі прилади. При підвищенні температури або рівня концентрації від'ємних аероіонів у приміщенні вище допустимих подається сигнал на вимкнення, відповідно, кондиціонера або аероіонізатора. У разі зниження температури або концентрації від'ємних аероіонів нижче допустимого значення - вимкнення, відповідно, кондиціонера або аероіонізатора.

Відповідно до приведеного алгоритму функціонування програмно-інформаційної системи оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні розроблено програмне забезпечення. Для зручності, блок управління пов'язаний з інтерфейсом, який виконаний у вигляді інформаційного вікна.

Програмне забезпечення системи оптимізації мікроклімату виробничого приміщення реалізує такі функції:

- введення інформації від вимірювальних приладів;
- аналіз та обробка введеної інформації;
- забезпечення спеціальними програмами, які моделюють кліматичну

поведінку приміщення, його заданий температурний та іонізаційний режим та оптимізують необхідне надходження тепла і концентрації від'ємних аероіонів від виконавчих приладів для підтримки цих режимів;

- прийняття рішення згідно закладених алгоритмів;
- вивід управляючих впливів в канал управління;
- вивід повідомлення на дисплей терміналу;
- організацію діалогу з користувачем.

Інформаційне вікно являє собою електронне табло, за допомогою якого користувач має змогу спостерігати за поточним значенням температури і концентрації від'ємних аероіонів у виробничому приміщенні і за реагуванням системи на зміну цих параметрів.

Запропонований у статті спосіб функціонування системи забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні або робочій зоні дозволяє підтримувати температурні та аероіонізаційні показники повітря в межах, визначених Державним Санітарними Нормами [1]. Особливістю запропонованої системи є можливість регулювання не тільки величини температури повітря, а й величини концентрації від'ємних аероіонів.

Висновки. У ході проведених досліджень розроблено програмно-інформаційну систему оптимізації мікроклімату у виробничих приміщеннях, яка являє собою замкнуту систему і виконує інформаційну, управляючу і допоміжну функції. Розроблене програмне забезпечення запропонованої системи дозволяє виконати вибір кількості джерел від'ємних аероіонів заданої сили випромінювання відповідно до заданих геометричних розмірів приміщення, виміряти температуру і рівень концентрації від'ємних аероіонів у приміщенні, порівняти їх з нормованими значеннями, видати відповідні управляючі впливи на виконавчі прилади.

Список літератури: 1. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] : ДСН 3.3.6.042-99. - Чинний від 01.12.99. - К.: МОЗ України, 1999. - 10 с. 2. *Строкань, О. В.* Геометричне моделювання процесу розподілення негативних аероіонів у закритому просторі: дисс. канд. техн.наук: 05.01.01 /*Строкань Оксана Вікторівна.* - Мелітополь, 1010. - 172 с. 3. *Строкань, О. В.* Оптимізація розміщення джерел аероіонного випромінювання [Текст] / *О. В. Строкань* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2011. - Т.50. - С. 142-145. 4. *Corontini, S. C.* The effect of aerosols on the electrical conductivity in the atmosphere [Text] / *S. C. Corontini* // *Geofis. Pura e Appl.* - 1961, Vol. 48. - № 1. - P. 124-128. 5. *Israel, H.* Atmosphärische Elektrizität [Text] / *H. Israel* // Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft Deest & Portig K. - 1981. - Bd. 1. - S. 175- 379. 6. *Israel, H.* Ein transportable Messgerät für schwere Ionen [Text] / *H. Israel* // *Zs. Geophys.* - 1984. - Bd. 5. - S. 342-350. 7. *Krueger, A. P.* Biological impact of small air ions [Text] / *A. P., Krueger, E.J.* // *Reed- Science.* - 1976. - № 16. - P.1209-1213. 8. *Loeb, L. B.* Basic processes of gaseous electronics [Text] / *L. B. Loeb* // *Berkeley Ser., Los Angeles: Univ. Calif. Press.* - 1980. - P. 1020-1028. 9. *Misaki M.* Studies on the atmospheric ion spectrum. I: Procedures of experiments and data analysis [Text] / *M. Misaki* // *Pap. Meteorol. and Geophys.* - 1991. - № 3. - P. 247-260. 10. *Чижевський, Л. О.* Аэроионификация в народном хозяйстве [Текст] учеб./ *Л. О. Чижевський.* - М.: Госпланиздат, 1960. - 758с. 11. *Чураков, А. Я.* Проектування розташування джерел аероіонів в робочому просторі [Текст] / *А. Я. Чураков, О. В. Івженко, О. В. Строкань* // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - Мелітополь, 2008. -Т.38. - С.86-88.

Bibliography (transliterated): 1. Sanitary standards for the microclimate of industrial facilities (1999). The Ministry of Health of Ukraine, 10. 2. *Strokan, O. V.* (2010). Geometric modeling of the process of distribution of negative ions in a confined space. Melitopo, 172. 3. *Strokan, O. V.* (2011). Optimization of the placement of sources agroionic radiation. Proceedings of the Tauride state agrotechnological University, 50, 142-145. 4. *Corontini, S. C.* (1961). The effect of aerosols on the electrical conductivity in the atmosphere. Geofis. Pura e Appl, № 1, 124-128. 5. *Israel, H.* (1981). Atmospheric Electricity. Leipzig: Akad. Publishing company Deest & Porty K, 1, 175 - 379. 6. *Israel, H.* (1984). A portable gauge for heavy ions. Zs. Geophys, 5, 342-350. 7. *Krueger, A. P.* (1976). Biological impact of small air ions. Reed– Science, 16., 1209-1213. 8. *Loeb, L. B.* (1980). Basic processes of gaseous electronics. Berkeley Ser., Los Angeles: Univ. Calif. Press, 1020-1028. 9. *Misaki M.* (1991). Studies on the atmospheric ion spectrum. I: Procedures of experiments and data analysis. Pap. Meteorol. and Geophys, 3, 247-260. 10. *Chizhevsky, L. O.* Aerodynamically in the national economy (1960). Geoplanidae, 758. 11. *Churakov, A. J.* (2008) Designing the location of the sources of ions in the workspace. Applied geometry and engineering graphics, 38, 86-88.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 620.2:684.433.3

С. В. СОРОКІНА, канд. техн. наук, доц., Харківський державний університет харчування та торгівлі;

В. О. АКМЕН, канд. техн. наук, доц., Харківський державний університет харчування та торгівлі;

В. А. АФАНАСЬЄВА, канд. техн. наук, доц., Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ НОВОГО КОНСТРУКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ТКАНИН ДО ТЕРТЯ

У зв'язку з наявністю проблеми швидкого зношування м'якого елемента диванів протягом сну, запропоновано параметри нового конструктивного елемента з метою зменшення навантаження тертя на тканеве покриття. Шляхом математичного комп'ютерного моделювання, за допомогою методу кореляційно-регресивного аналізу проведено оптимізацію параметрів розміру та маси конструктивного елемента та обрано найбільш оптимальне значення ваги нового елемента, яка складає 4,7 кг при щільності використаного матеріалу – 252 кг/м³ та розмірах 55*241*18 см. Іл.: 5. Бібліогр.: 3. назв.

Ключові слова: диван, меблева тканина, оптимізація параметрів, накидка-оболонка, стійкість до тертя.

Вступ. Зараз на українському ринку меблів працює 8 тис. меблевих магазинів й компаній. У багатьох компаній постійно з'являються нові серії меблів, що розширює асортимент. У свою чергу змінюються смаки споживачів і рівень їхніх знань про меблі [1, 2]. Акценти сучасного дизайну зміщаються у бік більше світлих тонів оббивки й округлих форм, статку дерева, пластику, металу; фурнітура стає богаче, популярне натуральне дерево, підвісні елементи, ролети. Все більшим попитом користуються «полегшені» моделі диванів та гарнитурів [3].

Виробники, щоб завоювати свою нішу на ринку, стали більш відповідально відноситись до процесу виробництва і контролю якості продукції. Це підтверджується статистичними даними приведеними у літературі. Проведені нами дослідження якості м'яких меблів за фізико-технічними показниками, встановили, що за показником стійкості та міцності кріплення елементів відхилень не мав жодний з дослідних зразків диванів [4, 5].

Але одна проблема залишається невирішеною, а тому актуальною – швидка зношуваність поверхневого покриття, навіть при використанні сучасних тканин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Меблі –одна з головних деталей сучасного інтер'єру. Особливе значення в останній час набувають дивани, офісні крісла і м'які куточки, їх українці оновлюють частіше за шафи, прихожі та інші меблі.

Як показало опитування, українські споживачі у більшості звикли використовувати дивани за двома призначеннями – для відпочинку сидячі і для нічного відпочинку лежачі, що призводить до швидкого зношування поверхневого покриття. При цьому, як показали проведені раніш дослідження, більшість сучасних імпорتنих тканин, що використовують вітчизняні виробники при виробництві меблевої продукції, мають достатню стійкість до тертя, але не розраховані на додаткове навантаження у період сну людини [6–8].

Виходячи із цього, вирішення проблеми зменшення навантаження на поверхню меблевої тканини пов'язаного з процесом тертя у період сну людини, є актуальним завданням сьогодення.

Для вирішення поставленого завдання нами запропоновано введення нового конструктивного елемента, що входить до комплектації дивану. Для кращого поєнання з виробами та раціонального використання необхідним є удосконалення та оптимізація розмірів нового елемента, його маси та щільності матеріалу для виготовлення.

Мета та завдання статті. Метою даної роботи є оптимізація параметрів нового конструктивного елемента, що підвищує стійкість меблевих тканин до тертя при відпочинку людини.

Для досягнення поставленої мети у роботі буде вирішено завдання пов'язане з розробкою алгоритму і побудовою математичної моделі меблів з новими конструктивними елементами.

Методика експериментів. Побудову математичної моделі здійснено із застосуванням комп'ютеру і використанням програмного забезпечення - табличного процесору MS Excel 2000, який входить до складу Microsoft Office 2000. При побудові математичної моделі використовувалися такі можливості Excel: математичні і статистичні функції, які дозволили здійснити різноманітні арифметичні дії, застосовано універсальну комп'ютерну технологію для рішення задач прогнозування тенденцій розвитку на основі моделювання рядів динаміки (трендовий аналіз), деякі розрахунки супроводжувалися схемами і рисунками [9, 10]

Оптимізацію параметрів нового елемента проводили за допомогою математичного комп'ютерного моделювання. Математична модель являє собою опис змінних і розрахункової формул для вирішення поставленої задачі. Процес побудови математичної моделі задачі було розбито на три етапи: 1. Введення позначень початкових даних і результатів; 2. Побудова математичних виразів для

обчислення функції мети по значеннях незалежних змінних; 3. Побудова математичних виразів, що описують обмеження на значення незалежних змінних і інші особливості задачі.

Обговорення результатів. Відомо, що математична модель – це модель, яка сформульована на мові математики та логіки. Якщо модель формулюється таким чином, що її можна обробляти на комп'ютері і виконувати розрахунки по формулах, то це буде математична комп'ютерна модель [11, 12].

Комп'ютерне моделювання починали з постановки задачі. За постановкою задачі слідував етап розробки моделі, де необхідно було виконати формальну (математичну) постановку задачі, в результаті якої повинна бути отримана математична модель задачі, що вирішується.

При розробці комп'ютерної моделі дуже суттєвим був вибір програмного забезпечення, за допомогою якого виконується моделювання. Коли модель було розроблено, приступали до наступного етапу – комп'ютерного експерименту. В ході цих експериментів перевіряли роботу моделі, а також виконували необхідні розрахунки або перетворення.

Завершувальним етапом комп'ютерного моделювання було надання висновків шляхом аналізу результатів. Матеріалом для аналізу були результати комп'ютерних експериментів.

Алгоритм рішення задачі розроблений на основі теоретичних відомостей про кореляційний та регресійний аналіз наведено нижче. Побудову математичної моделі здійснено із застосуванням комп'ютеру і використанням програмного забезпечення – табличного процесору MS Excel 2000, який входить до складу Microsoft Office 2000.

Експериментальні дані, як правило представляються у вигляді таблиць. Числові дані, що містяться в таблицях, звичайно мають між собою явні (відомі) чи неявні (сховані) зв'язки. Явно зв'язані показники, що отримані методами прямого рахунка, тобто обчислені по заздалегідь відомих формулах (відсотки виконання плану, питомі ваги, відхилення в сумі, відхилення у відсотках, темпи росту, темпи приросту, індекси і т.п.). Зв'язки ж другого типу заздалегідь невідомі [13].

Кореляційно-регресійний аналіз надає можливість виявити сховані залежності і виразити їх у виді формул, тобто математично змодельовати явища чи процеси.

При використанні методів кореляційно-регресійного аналізу вимірювали тісноту зв'язків показників за допомогою коефіцієнта кореляції. При цьому виявляли зв'язки, різні по силі (сильні, слабкі, помірні та ін.) і різні по напрямку (прямі, зворотні). Якщо зв'язки виявлялися істотними, тоді доцільно було знаходження їх математичного вираження у виді регресійної моделі й оцінювання статистичної значимості моделі. Електронні таблиці роблять такий аналіз легко доступним.

Для аналізу і прогнозування даних було побудовано лінії тренда, що найкраще апроксимує (наближає) дійсну тенденцію динамічного ряду значень. При цьому, шляхом використання регресійного аналізу, можна продовжити лінію тренда в діаграмі за межі реальних даних для прогнозу майбутніх значень.

Для оцінки якості отриманої моделі програма вичислила декілька коефіцієнтів, які необхідно порівняти з відомими статистичними критеріями і оцінити модель.

Коефіцієнт детерміації R^2 – це квадрат множинного коефіцієнта кореляції

між спостережуваним значенням Y і його теоретичним значенням, обчисленим на основі моделі з певним набором факторів. Коефіцієнт детерміації вимірює дійсність моделі і відображає близькість значень лінії тренда до фактичних даних. Він може приймати значення від 0 до 1. Чим більше величина цього показника, тим достовірніше лінія тренда.. Найбільш надійна лінія тренда, для якої значення R^2 рівне або близьке до 1. Ця величина особливо корисна для порівняння ряду різних моделей і вибору найкращої моделі.

При підборі лінії тренда до даних Excel автоматично розраховує значення R^2 , це значення можна відобразити на діаграмі.

На початку роботи по оптимізації параметрів запропонованого конструктивного елементу, що зменшує зношуваність поверхневого тканевого покриття диванів, проведено дослідження параметрів щільності, ваги, товщини стінок різних видів надувних накидок-оболонок. Результати досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика показників надувних накидок-оболонок

Найменування матраців Розмір (Ш*Д*В), см 55*241*18	Характеристика показників		
	Щільність матеріалу, кг/м ³	Вага матрацу, кг	Товщина стінок матрацу, см
INTEX CLASSIC	420	7,7	48
TWIN RISING COMFORT	400	7	48
QUEEN INTEX	350	6,5	48
TWIN AIRBED INTEX	300	5,25	48
TWIN DELUXE PILLOW REST	195	3,1	48
Новий	252	4,7	48

Для побудови математичної моделі були виконані такі дії:

- 1) Побудовано ХУ-діаграму вихідного динамічного ряду;
- 2) Щигликом лівої кнопки миші (ЛКМ) виділено лінію показника, для побудови тренду;
- 3) Далі натиснули правою кнопкою миші (ПКМ) по маркірованій лінії для відкриття контекстно-залежного меню;
- 4) Вибрали опцію «Добавить линию тренда.»;
- 5) У діалоговому вікні типів тренда, що відкрилося, вибрали один тип. Вікно «Линия тренда» дало можливість моделювати тренд, використовуючи п'ять основних типів регресії: лінійну, логарифмічну, поліноміальну, степеневу, експоненціальну. Вибрано поліноміальну форму тренду третього порядку.
- 6) У тім же вікні вибрали вкладку «Параметры»;
- 7) У діалоговому вікні параметрів тренда, що відкрилося, встановили

прапорець «Показывать уравнение на диаграмме» і прапорець «Поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2 ».

В результаті отримали рівняння регресії (математичну модель) та квадрат коефіцієнта кореляції R^2 для поліноміального тренду. Згідно вищенаведеному алгоритму було побудовано степеневий тренд (рис. 1, 2).

Отримані формули та коефіцієнти детермінації (квадрат коефіцієнта кореляції R^2) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Зведена таблиця отриманих формул трендів та коефіцієнтів детермінації

Формули трендів та коефіцієнтів детермінації	
Степеневий	$y = 0,0088x^{1,123}$ $R^2 = 0,9792$
Поліноміальний	$y = 3 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0003x^2 + 0,1129x - 9,853$ $R^2 = 0,9894$

Після аналізу отриманих трендів між собою і з експериментальними даними був обраний тренд, який найкращим образом описує експериментальні дані, - поліноміальний 3 степені з рівнянням $y = 3 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0003x^2 + 0,1129x - 9,853$ і з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,9894$.

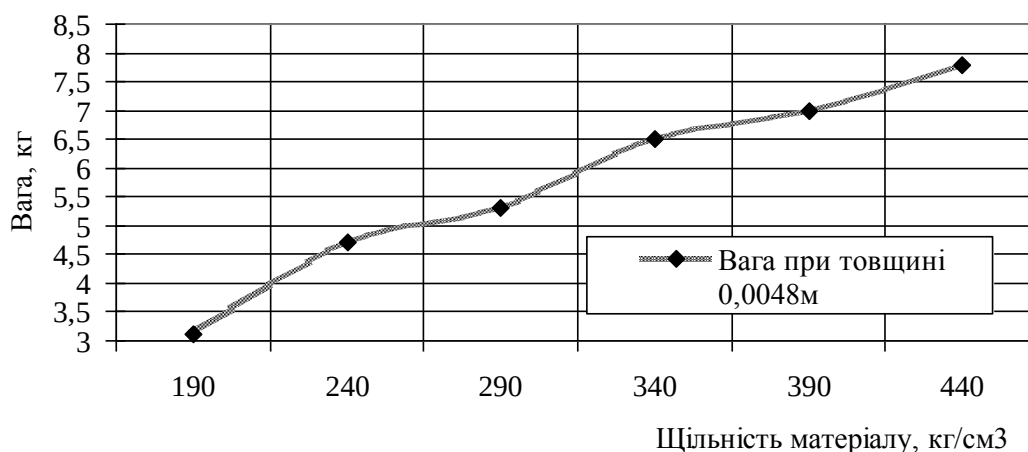


Рис. 1 – Залежність ваги нового елемента від щільності матеріалу

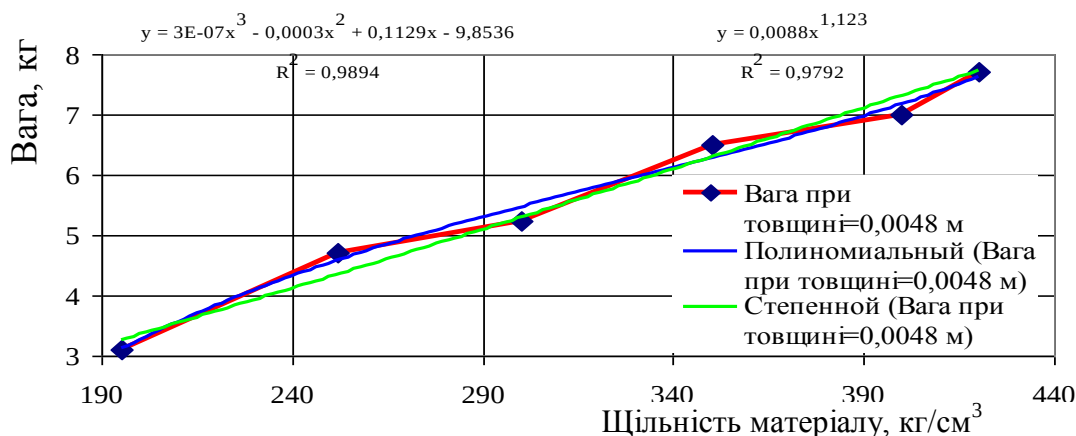


Рис. 2 – Отримані лінії трендів та рівняння регресій залежності ваги нового елемента від щільності матеріалу

В таблиці 3 наведено результати обчислень нарисних статистик для вихідної сукупності даних засобами MS Excel.

Таблиця 3 – Результати обчислень нарисних статистик для вихідної сукупності даних засобами MS Excel

Середнє	5,708333333
Стандартна помилка	0,690219369
Медіана	5,875
Мода	2
Стандартне відхилення	1,690685265
Дисперсія вибірки	2,858416667
Ексцес	-0,571937181
Асиметричність	-0,516199634
Інтервал	4,6
Мінімум	3,1
Максимум	7,7
Сума	34,25
Рахунок	6
Найбільший (1)	7,7
Найменший (1)	3,1
Рівень надійності (95,0%)	1,774265373

Обране значення середнього рівня показника перераховується з урахуванням довірчого інтервалу. Так, згідно графіку поліноміального тренду найкраще значення ваги нового елементу становить 4,7 кг при щільності матеріалу 252 кг/м³. Його нижня та верхня границі будуть становити:

$$\text{від } (4,7-2,93) = 1,77 \text{ кг до } (4,7+1,77) = 6,47 \text{ кг},$$

де 1,77 – це довірчий інтервал при рівні надійності 95% (табл. 3).

Висновки. Проаналізувавши побудовану математичну модель і результати досліджень відносно параметрів конструктивного елементу можна зробити такі висновки: для збільшення стійкості меблевих тканин м'яких меблів до тертя, при відпочику у ночі, за оптимальний варіант було обрано новий конструктивний елемент з розмірами 55*241*18 см, з товщиною стінок 48 мм та вагою без насосу 4,7 кг. При використанні більш щільного матеріалу для вироблення нового конструктивного елементу значно збільшується вага.

Список літератури: 1. *Логинова Г.* Мягкая мебель: классика и новаторство [Текст] / *Г. Логинова* // Секретарь-референт. – январь. – 2007. – 47с. 2. *Анурьев С.* Анализ основных тенденций на мировом и российских мебельных рынках [Текст] / *С. Анурьев, О. Сутырин* // Управление компанией. – 2005. – №4. – С. 45-52. 3. *Lyons. R. (n.d.).* Restlife. Net. Retrieved from Underdstanding the basics of wood. Furniture specification and construction techniques: http://reslife.net/html/facilities_0400a.html. 4. *Дюкарева Г.* Експертна оцінка споживчих властивостей зразків м'яких меблів [Текст] / *Г. І. Дюкарева, В. О. Акмен, К. І. Панченко* // Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових

виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : Міжнародна науково-практична конференція присвячена 40-річчю ХДУХТ, 17 жовтня 2007 р. – Харків, 2007. – С. 181-182. 5. Fauzi. A. (2014). Quality of furniture. Jengka. Pahang. 6. Дюкарева Г. І. Порівняння споживчих якостей тканин, що використовуються для оздоблювання м'яких меблів [Текст] / Г. І. Дюкарева, В. О. Акмен, Н. О. Стрікова // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. Наук. праць / ХДУХТ. – X, 2007. – № 1. – С.340-345. 7. Sudin. D. R. (1998). Testing Services Provided by FRIM Which Are Accredited By ISO 17025. Runiture Testing Laboratory. 1-37. 8. Izzah Azimah Binti. (2014). Furniture technology Universiti teknologi mara (UiTM) Jengka Pahang: <http://www.slideshare.net/izzahnoah/furniture-quality>. 9. Толбатов Ю. А. Загальна теорія статистики засобами EXCEL [Текст] : навчальний посібник / Ю. А. Толбатов // Четверта хвиля. – К, 1999. – 224 с. 10. Guerriero, F., De Rango, F., Marano, S. & Bruno, E. (2009). A biobjective optimization model for routing in mobile ad hoc networks, Applied Mathematical Modelling 33(3): 1493–1512. 11. Парнаев А. Ю. Использование MS EXCEL и VBA в экономике и финансах [Текст] / А. Ю. Парнаев. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 1999. – 336 с. 12. Mieke Boon (2008). Diagrammatic Models in the Engineering Sciences. Foundations of Science 13 (2):127-142. 13. Colleen Murphy, Paolo Gardoni & Charles Harris (2011). Classification and Moral Evaluation of Uncertainties in Engineering Modeling. Science and Engineering Ethics 17 (3):553-570.

Bibliography (transliterated): 1. Logynova G. (2007). Soft furniture: the classics and innovation. Secretary-reviewer, January, 47. 2. Anur'ev S., Sutyryn O. (2005). Analysis of basic tendencies on world and rosyyskykh furnitures markets. Management by a company, № 4, 45-52. 3. Lyons. R. (n.d.). Restlife. Net. Retrieved from Underdntanding the basics of wood. Furniture specification and construction techniques: http://reslife.net/html/facilities_0400a.html. 4. Dyukareva G. I., Akmen V. A., Panchenko K. I. (2007). Expert estimation of consumers properties of standards of soft furnitures. Strategic directions of development of ente. rprises of food productions restaurant economy and trade. Kharkov: An international naukovo-prraktichna conference is devoted to 40-to the years KHDUKHT, 181-182. 5. Fauzi. A. (2014). Quality of furniture. Jengka. Pahang. 6. Dyukareva G. I., Akmen V. A., Strykova N. O. (2007). Comparison of consumers internalss of fabrics which are used for finishing of soft furnitures. Progressive technician and technology of food productions of restaurant economy and trade. Kharkov : Collection of scientific labours KHDUKHT, № 1, 340-345. 7. Sudin. D. R. (1998). Testing Services Provided by FRIM Which Are Accredited By ISO 17025. Runiture Testing Laboratory. 1-37. 8. Izzah Azimah Binti. (2014). Furniture technology Universiti teknologi mara (UiTM) Jengka Pahang: <http://www.slideshare.net/izzahnoah/furniture-quality>. 9. Tolbatov YU. A. (1999). General theory of statistics by facilities of EXCEL. Fourth wave, 224. 10. Guerriero, F., De Rango, F., Marano, S. & Bruno, E. (2009). A biobjective optimization model for routing in mobile ad hoc networks, Applied Mathematical Modelling 33(3): 1493–1512. 11. Parnaev A. YU. (1999). Use of MS EXCEL and VBA in an economy and finances. Saint Petersburg: BKHV, 336. 12. Mieke Boon (2008). Diagrammatic Models in the Engineering Sciences. Foundations of Science 13 (2):127-142. 13. Colleen Murphy, Paolo Gardoni & Charles Harris (2011). Classification and Moral Evaluation of Uncertainties in Engineering Modeling. Science and Engineering Ethics 17 (3):553-570.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 519.872

С. В. ПУСТОВА, канд. техн. наук, докторант, Національний авіаційний університет, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ $GI/G/c/0/L//G$ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Використовуючи метод Монте-Карло, було розроблено алгоритм моделювання СМО типу $GI/G/c/0/L//G$, тобто багатоканальної системи обслуговування із загальним вхідним

© С. В. ПУСТОВА, 2014

потоким вимог, загальними часами обслуговування, орбітою обмеженої ємності та загальним розподілом інтервалів часу між надходженнями повторних вимог до системи з орбіти. Наведено розроблений алгоритм статистичного моделювання залежності кількості вимог в системі масового обслуговування типу $GI / G / c / 0 / L // G$ від часу. Зобр.: 2. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: теорія масового обслуговування, статистичне моделювання, системи з поверненням вимог, повторні виклики

Вступ. Близько 20 років тому почала розвиватись теорія масового обслуговування (ТМО) з поверненнями [1-6], тим самим надавши можливість використання нового математичного апарату для дослідження реальних систем. На практиці лише для деяких систем з поверненнями викликів вдається вивести придатні для обчислень аналітичні формули для деяких показників функціонування систем масового обслуговування (СМО). Однак існує універсальний метод обчислення подібних показників – метод Монте-Карло (статистичного моделювання) [5].

У наш час у ТМО та теорії статистики накопичені значні знання і створені методологічні передумови, які становлять базу для нашого дослідження. Різні аспекти ТМО висвітлені у роботах вчених: А. К. Ерланга, О. Я. Хінчина, С. Пальма, Б. В. Гнеденка, Д. Г. Кендалла, О. О. Боровкова, Д. Кокса, В. Сміта, С.Р. Чахарварті, В. М. Абрамова, Б. А. Севастьянова, І. М. Коваленка, Т. П. Мар'яновича, О. В. Коби, Є. О. Лебедєва, А. А. Чечельницького, Г. П. Клімова та багатьох інших [1-13].

Важливим розділом ТМО є теорія систем з повторними викликами. Такі системи характеризуються наступною поведінкою. Якщо виклик надійшов до системи, у якій усі канали обслуговування і місця для очікування зайняті, то він залишає систему на деякий випадковий проміжок часу, інакше кажучи, йде на орбіту, а потім знову повторює спроби отримати обслуговування. Важливість цього розділу ТМО обумовлена його широкими практичними застосуваннями [13].

Метою роботи є розробка статистичної моделі із подальшим дослідженням показників ефективності функціонування системи обслуговування з поверненням вимог.

Метод статистичного моделювання. Розглянемо рівняння:

$$y = f(x, t, \xi), \quad (1)$$

де y – параметр системи, який треба визначити, x – фазова змінна, t – час, ξ – випадковий параметр, закон розподілу якого нам відомий.

Якщо функція f істотно нелінійна, то для розв'язання даної задачі не існує універсальних методів розв'язання, і досить повно відпрацьовані регулярні методи пошуку оптимальних розв'язків можна застосувати лише для імітації використання математики, спрощення приведуть до серйозної втрати точності.

Однак, якщо вдається побудувати функцію $y = \varphi(\xi)$ і датчик випадкових чисел $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ із заданим законом розподілу, то значення y може бути обчислене як

$$y = \Sigma \varphi(\xi_i) / N, \quad (2)$$

де $\varphi(\xi_i)$ – значення i -ої реалізації.

Якщо $f(x, t, \xi)$ є аналітичною моделлю процесу перетворення інформації або технологічного процесу обробки деталі, то $\varphi(\xi)$ буде статистичною моделлю. Важливо те, що при побудові функції $y = \varphi(\xi)$ і датчика випадкових чисел $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ на папері в переважній більшості випадків досить легко реалізувати їх на комп'ютері у рамках відповідного програмного забезпечення. При цьому результати будуть містити похибку, але ця похибка менша, ніж похибки через спрощення в аналітичній моделі. Крім того, можна кількісно оцінити похибку при використанні статистичної моделі.

Цей прийом поширюється й на більш складні випадки, коли рівняння (1) містить не лише випадкові параметри, але й випадкові функції.

Після отримання на комп'ютері N реалізацій йде етап обробки статистики, що дозволяє розрахувати, поряд з математичним очікуванням (2) і інші параметри $\varphi(\xi)$, наприклад дисперсію.

У методі статистичних випробувань для отримання досить надійних результатів необхідно забезпечити велику кількість реалізацій N . Довірчий інтервал ε , довірча ймовірність α , дисперсія D і число реалізацій N пов'язані співвідношенням

$$\varepsilon = D / N \Phi^{-1}(\alpha),$$

де Φ^{-1} – функція, обернена до функції Лапласа.

На практиці можна використати співвідношення

$$N \leq D / \varepsilon^2 * 6,76,$$

для $\alpha \geq 0,99$ приймаючи, з метою надійності, найбільше значення N зі співвідношення.

Оцінка дисперсії D може бути отримана попередньо за допомогою цієї ж статистичної моделі при кількості реалізацій $n, n \ll N$.

Найчастіше системи обслуговування моделюються як випадковий процес з дискретним часом $(X_n, n \geq 1)$, де X_n – вектор розмірності k , що містить інформацію про шукані характеристики системи обслуговування; n – деякі моменти часу, які обираються в залежності від задачі моделювання. Використовуючи метод Монте-Карло, було розроблено алгоритм статистичного моделювання СМО $GI / G / c / 0 / L // G$.

Алгоритм моделювання залежності кількості вимог в системі $GI / G / c / 0 / L // G$ від часу. Опишемо кроки розробленого алгоритму для моделювання системи $GI / G / c / 0 / L // G$.

1. Задання початкових параметрів:

W_i – випадкова величина часу між надходженнями вхідних вимог, розподілена за обраним законом розподілу;

W_m – випадкова величина часу між обслуговуваннями вимог, розподілена за обраним законом розподілу;

W_n – випадкова величина часу між поверненнями, яка кожного разу приймає нові значення, розподілена за обраним законом розподілу;

c – кількість каналів обслуговування;

L – ємність орбіти;

$N_{\max}$ – кількість вимог, які надходять до системи.

2. Ініціалізація змінних:

$N_{zanC} = 0$ – кількість зайнятих каналів;

$N_i = 0$ – кількість вимог у системі;

$N_{obs} = 0$ – кількість вимог, які отримали обслуговування;

$N_{orb} = 0$ – кількість вимог на орбіті;

$Lost$ – кількість втрачених вимог;

$Tokobs_j, j = \overline{1, c}$ – моменти завершення обслуговування на j -му каналі обслуговування (моменти звільнення каналів обслуговування);

$Torb_k, k = \overline{1, L}$ – моменти надходження вимог з орбіти ємністю L ;

3. До системи надходить перший виклик:

$$N_i = 1; t = w_i;$$

$$j = 1; Tokobs_1 = t + w_m; N_{obs} = 1.$$

4. Початкове завантаження системи.

Перевіряємо чи надійшла до системи необхідна кількість вимог, тобто якщо $N_i = N_{\max}$, то припиняємо роботу алгоритму. В іншому ж випадку, продовжуємо.

Надходження нової вимоги:

$$N_i = N_i + 1; t = t - w_i.$$

4.1. Якщо хоча б один канал обслуговування вільний на момент надходження нової вимоги, тобто

$$N_{zanC} = \sum_{i=1}^c I\{Tokobs_i < t\} > 0,$$

де $I\{\cdot\}$ – індикаторна функція, то відбувається обслуговування виклику:

$$N_{obs} = N_{obs} + 1;$$

$$Tokobs_j = t - w_m, j = \min\{i | Tokobs_i < t, i = \overline{1, c}\}.$$

Переходимо до пункту 4.

4.2. В іншому випадку, тобто коли $N_{zanC} \leq 0$, виклик йде на орбіту:

$$N_{orb} = N_{orb} + 1; Torb_1 = t - w_n.$$

Переходимо до пункту 5.

5. Основна частина алгоритму.

Перевіряємо чи надійшла до системи необхідна кількість вимог, тобто якщо

$N_i = N_{\max}$, то припиняємо роботу алгоритму. В іншому ж випадку, продовжуємо. Генеруємо момент надходження первинного виклику:

$$N_i = N_i + 1, t = t - w_i.$$

Перевіряємо наявність викликів на орбіті. Якщо

$$orb = I\{\forall Torb_l \neq 0, l = \overline{1, L}\} \neq 0,$$

де $I\{\cdot\}$ – індикаторна функція, тоді переходимо до пункту 5.1, в іншому випадку – до пункту 4.

5.1. Перевіряємо, який виклик надійде першим: первинний чи з орбіти.

Якщо першим надійде первинний виклик, тобто

$$A = I\{t < Torb_{\min}\} \neq 0, Torb_{\min} = \min\{Torb_l | Torb_l \neq 0, l = \overline{1, L}\},$$

де $I\{\cdot\}$ – індикаторна функція, тоді переходимо до наступного пункту.

5.1.1. Перевіряємо, чи є вільні канали обслуговування, тобто

$$J = I\{t \geq Tokobs_{\min}\} \neq 0, Tokobs_{\min} = \min\{Tokobs_l, l = \overline{1, c}\}$$

де $I\{\cdot\}$ – індикаторна функція, тоді відбувається обслуговування виклику:

$$N_{obs} = N_{obs} + 1,$$

$$Tokobs_j = t - \ln(\omega) / \mu, j = \min\{l | Tokobs_l = Tokobs_{\min}, l = \overline{1, c}\}.$$

Переходимо до пункту 5.

5.1.2. Якщо вільних каналів обслуговування не існує, тобто

$$J = I\{t \geq Tokobs_{\min}\} = 0, Tokobs_{\min} = \min\{Tokobs_l, l = \overline{1, c}\},$$

тоді виклик йде на орбіту або втрачається.

5.1.2.1. Виклик йде на орбіту, якщо орбіта ще не заповнена, тобто

$$B = I\{\forall Torb_l = 0, l = \overline{1, L}\} \neq 0,$$

де $I\{\cdot\}$ – індикаторна функція, тоді

$$N_{orb} = N_{orb} + 1; Torb_k = t - w_n, k = \min\{l | Torb_l = 0, l = \overline{1, L}\}.$$

Переходимо до пункту 5.

5.1.2.2. Якщо ж орбіта заповнена, тобто $B = I\{\forall Torb_l = 0, l = \overline{1, L}\} = 0$,

тоді виклик втрачається: $Lost = Lost + 1$.

Перехід на пункт 5.

5.2. Якщо ж першим надійде виклик з орбіти, тобто $A = I\{t > Torb_{\min}\} \neq 0$, $Torb_{\min} = \min\{Torb_l | Torb_l \neq 0, l = \overline{1, L}\}$, тоді переходимо до 5.2.1, в іншому випадку – до пункту 5.3.

5.2.1. Перевіряємо наявність вільних каналів обслуговування, тобто якщо $J = I\{\forall Tokobs_l \leq Torb_{\min}, l = \overline{1, c}\} \neq 0$, тоді відбувається обслуговування повернення:

$$N_{obs} = N_{obs} + 1;$$

$$Tokobs_j = Torb_{\min} - w_n, j = \min\{l \mid Tokobs_l \leq Torb_{\min}, l = \overline{1, c}\};$$

$Torb_K = 0$, $K = \min\{l \mid Torb_l = Torb_{\min}, l = \overline{1, L}\}$ – виклик зник з орбіти.

Переходимо до пункту 5.2.

5.2.2. Якщо вільних каналів обслуговування немає, тобто $J = I\{\forall Tokobs_l \leq Torb_{\min}, l = \overline{1, c}\} = 0$, тоді виклик повторно йде на орбіту:

$$Torb_k = Torb_k - w_n, k = \min\{l \mid Torb_l = Torb_{\min}, l = \overline{1, L}\}.$$

Переходимо до пункту 5.2.

5.3. Тепер, розглянувши усі повторні виклики, які надійшли до моменту t , розглянемо первинний виклик. Первинний виклик за наявності вільних каналів може отримати обслуговування і залишити систему, в іншому ж випадку – може піти на орбіту або стати втраченим. Тобто переходимо до пунктів 5.1.1 і 5.1.2.

Чисельні результати статистичного моделювання для системи типу $M/M/c/O/L//M$. Метод Монте-Карло зручний тим, що у розроблених статистичних моделях можна застосовувати різноманітні закони розподілу випадкових величин для потоків вимог: вхідного, обслуговування, потоку повернень. Оскільки часто для отримання найгірших оцінок використовують експоненціальний закон розподілу (який дозволяє отримати випадкові величини із великою розбіжністю), побудований алгоритм було запрограмовано та запущено на виконання із цим законом для часових інтервалів. За допомогою розробленого алгоритму можна спостерігати завантаженість, наприклад, системи $M/M/c/O/L//M$ (рис. 1, 2) в залежності від часу.

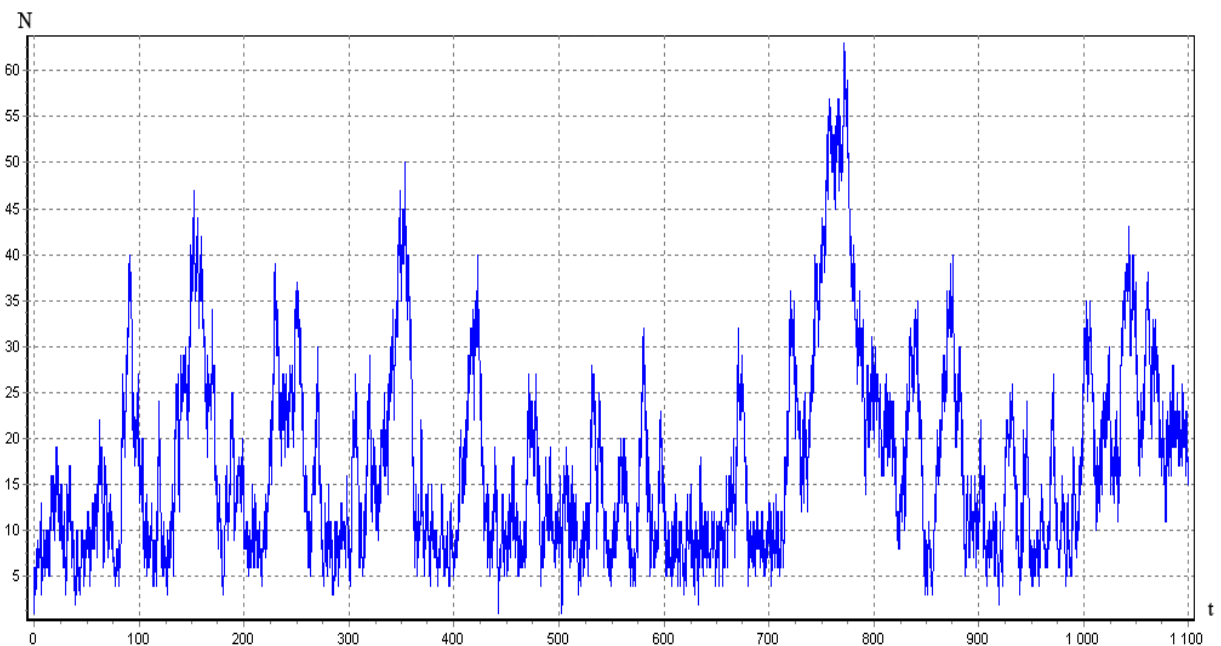


Рис. 1 – Залежність кількості вимог у системі від часу (для системи $M/M/10/O/L//M$)



Рис. 2 – Залежність кількості вимог у системі від часу (для системи $M/M/10/0/L//M$ при високому навантаженні)

Висновки. У статті розроблено алгоритм статистичного моделювання системи $GI/G/c/0/L//G$ – багатоканальної системи обслуговування із орбітою обмеженої ємності та загальним розподілом інтервалів час між надходженнями повторних вимог до системи з орбіти. Характерною особливістю розробленого алгоритму є те, що вхідний потік та потік обслуговування вважаються загальними.

Список літератури: 1. Artalejo J. R. Accessible Bibliography on Retrial Queues: Progress in 2000-2009 / J. R. Artalejo // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2010. – V. 51, i. 9-10. – P.1071-1081. 2. Falin G. I. Retrial Queues. / G. I. Falin, J. G. C. Templeton – London: Chapman and Hall, 1997. – 395 p. 3. Falin G. A Survey of Retrial Queues / G. Falin // *Queueing systems*. – 1990. – V. 41, No 7. – P.127-167. 4. Коваленко И. Н. К классификации систем обслуживания с повторением вызовов / И. Н. Коваленко, Е. В. Коба // *Кибернетика и системный анализ*. – 2010. – №3. – С. 84–91. 5. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания. / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко – М.: КомКнига, 2005. – 400 с. 6. Бочаров П. П. Теория массового обслуживания. / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М.: РУДН, 1995. – 529с. 7. Atencia I. A Discrete-Time Geo/G/1 Retrial Queue with General Retrial Times / Atencia I., Moreno P. // *Queueing Systems*. – 2004. – V. 48. – P.5–21. 8. Alfa A. S. Discrete-time Analysis of the GI/G/1 System with Bernoulli Retrials: An Algorithmic Approach / A. S. Alfa // *Annals of Operations Research*. – 2006. – V.141. – P.51–66. 9. Abramov V. M. Multiserver Queueing Systems with Retrials and Losses / V. M. Abramov // *ANZIAM J.* – 2007. – V.48, part 3. – P. 297–314. 10. Chakravarthy S. R. Analysis of MAP/PH/c Retrial Queue with Phase Type Retrials – Simulation Approach / S. R. Chakravarthy // *Modern Probabilistic Methods for Analysis of Telecommunication Networks*. – 2013. – V. 356. – P. 37-49. 11. Коба Е. В. Системы типа Лакатоша, их обобщение и применение. / Е. В. Коба, С. В. Пустовая // *Кибернетика и системный анализ*. – 2012. – № 3. – С. 78-90. 12. Коба Е. В. Центр обработки вызовов как система массового обслуживания с возвращениями / Е. В. Коба, С. В. Пустовая // *Проблемы управления и информатики*. – 2007. – № 3. – С. 103–112. 13. Пустовая С. В. Зависимость показателей функционирования call-центра от распределения времени пребывания вызовов на орбите / С. В. Пустовая // *Кибернетика и системный анализ*. – 2009. – №2. – С.170–183.

Bibliography (transliterated): 1. Artalejo J. R. (2010). Accessible Bibliography on Retrial Queues: Progress in 2000-2009. *Mathematical and Computer Modelling*, 51, 9-10, 1071-1081. 2. Falin G. I.,

Templeton J. G. C. (1997). Retrial Queues. London: Chapman and Hall, 395. 3. Falin G. (1990). A Survey of Retrial Queues. Queueing systems, 41, 7, 127-167. 4. Kovalenko I. N., Koba O. V. (2010). On classification of retrial queueing systems. Cybernetics and System Analysis, 3, 84-91. 5. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. (2005). Introduction to queueing theory, Moscow: KomKniga, 400. 6. Bocharov P. P., Pechinkon A. V. (1995). Queueing theory. Moscow: RUDN, 529. 7. Atencia I., Moreno P. (2004) A Discrete-Time Geo/G/1 Retrial Queue with General Retrial Times, Queueing Systems, 48, 5-21. 8. Alfa A. S. (2006). Discrete-time Analysis of the GI/G/1 System with Bernoulli Retrials: An Algorithmic Approach. Annals of Operations Research, 141, 51-66. 9. Abramov V. M. (2007). Multiserver Queueing Systems with Retrials and Losses. ANZIAM J., 48, 3, 297-314. 10. Chakravarthy S. R. (2013). Analysis of MAP/PH/c Retrial Queue with Phase Type Retrials – Simulation Approach. Modern Probabilistic Methods for Analysis of Telecommunication Networks, 356, 37-49. 11. Koba O. V., Pustova S. V. (2012). Lakatos type systems, their generalisation application. Cybernetics and Systems Analysis, 3, 78-90. 12. Koba O. V., Pustova S. V. (2007). Call Center as retrial queueing system. Problems of control and informatics, 3, 103-112. 13. Pustova S. V. (2009). Dependence of call center characteristics on distribution of orbit's sojourn time. Cybernetics and Systems Analysis, 2, 170-183.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 614.84:534.014.1

О. Г. ЯНЧИК, канд. техн. наук, с. н. с., ст. викл., НТУ «ХПІ»;
Ю. О. ГРАДИСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., Національний технічний
 університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ ПРИ ПОВОРОТІ КРАНА ЯК БЕЗПЕКА УСТАТКУВАННЯ

В статті розглянута розрахункова схема стрілової системи крана з двома ступенями свободи в умовах рівномірного і нерівномірного нерівноприскореного повороту. Проведено дослідження впливу відцентрованих сил коливання вантажу, при цьому сформульована та запропонована математична модель, яка є частиною узагальненої моделі крану. Встановлені зони безпечних амплітуд коливань і безпечних зон експлуатації таких кранів з позиції виключення порушень техніки безпеки при використанні стрілових систем кранів. Запропоновано внесення змін до технологічних карт вантажно-розвантажувальних робіт з метою підвищення рівня безпеки устаткування. Іл.: 3. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: підйомно-транспортні машини, безпека устаткування, рівномірний поворот, нерівномірний нерівноприскорений поворот.

Вступ. Робота підйомно-транспортних машин (ПТМ) тісно узгоджується з виробничим циклом і впливає на продуктивність, час і ефективність експлуатації виробничого устаткування, транспортних засобів і в цілому — на технологічний процес промислових і транспортних підприємств. Від характеру робочих рухів залежать навантажувальні, часові, геометричні, кінематичні й інші параметри перевантажувального процесу.

Істотною особливістю ПТМ є обмеження, що накладаються на їх характеристики: швидкості руху, повороту і зачерпування вантажу, прискорення, обертаючі моменти. Першорядне значення має те, що ПТМ являють собою динамічні системи, стан яких змінюється в часі: вони піддаються збурюванням (тиск вітру, коливання температури, динамічні навантаження і т.д.).

© О. Г. ЯНЧИК, Ю. О. ГРАДИСЬКИЙ 2014

Для розв'язку завдання поліпшення конструктивних і експлуатаційних показників ПТМ може бути використана математична модель процесів експлуатації ПТМ з метою виявлення умов недопущення порушень правил техніки безпеки.

Однією з причин зменшення продуктивності вантажопідйомних машин є розгойдування вантажу на гнучкому підвісі (канаті). Найбільш характерним є розгойдування вантажу при повороті крана через дію відцентрової сили і сили інерції вантажу при пусках і зупинках. Таким чином, вантаж одночасно коливається у площині хитання стріли і зміщається з цієї площини. Накладення цих двох коливань утрудняє роботу крановика, знижує безпеку виконання робіт. Для зменшення розгойдування вантажу збільшують час розгону, або застосовують керований електропривод, який розганяє і зупиняє кран за певним законом. Другому способу керування приділяється досить велика увага [1-4]. Однак дані методи керування не враховують різні конструктивні та експлуатаційні фактори, такі, як зазори в передавальних механізмах і жорсткість елементів конструкції. У зв'язку з цим, актуальним завданням є пошук режиму повороту крана, який би враховував вплив його конструктивних особливостей.

Подібні спроби наведені в [5], але вони вимагають уточнення з урахуванням повного значення кінетичної та потенційної енергії в рівнянні руху.

Мета даної роботи полягає в дослідженні впливу відцентрових сил на коливання вантажу, підвішеного на гнучкому канаті, при повороті стріли крана для визначення безпечних амплітуд коливань і безпечних зон експлуатації.

Методика досліджень. Для визначення функції Лагранжа і виведення рівнянь руху вантажу відповідно до [5], розрахункова схема представлена на рис. 1. Введемо наступні позначення: m - маса вантажу, l - довжина підвісу, r - відстань від точки підвісу до осі обертання, ω - кутова швидкість повороту крана, θ - кут відхилення канату від вертикалі, φ - кут повороту стріли крана.

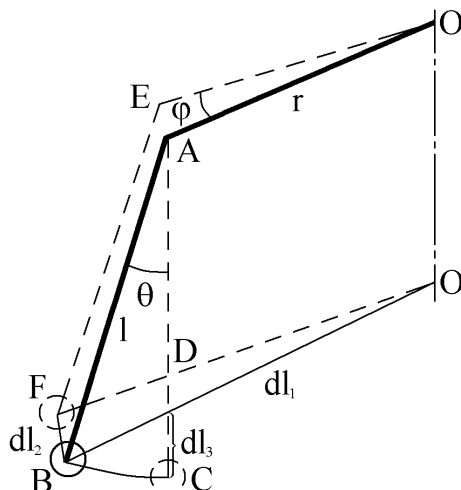


Рис. 1 – Розрахункова схема стрілової системи крана з двома ступенями свободи

Визначимо відстань від осі обертання до вантажу ($O'B$):

$$l_1 = r + l \sin \theta, \quad (1)$$

тоді

$$d l_1 = l \cos \theta d \theta. \quad (2)$$

Визначимо довжину дуги, по якій проходить вантаж при повороті крана навколо осі OO' (BF):

$$d l_2 = (r + l \sin \theta) d \varphi. \quad (3)$$

Зміна висоти вантажу (DC):

$$l_3 = l (1 - \cos \theta); \quad (4)$$

$$d l_3 = l \sin \theta d \theta. \quad (5)$$

Отже, швидкості змін $d l_1$, $d l_2$, $d l_3$:

$$\frac{d l_1}{d t} = l \cos \theta \frac{d \theta}{d t} = l \cos \theta \times \dot{\theta}, \quad (6)$$

$$\frac{d l_2}{d t} = (r + l \sin \theta) \frac{d \varphi}{d t} = (r + l \sin \theta) \times \dot{\varphi}, \quad (7)$$

$$\frac{d l_3}{d t} = l \sin \theta \frac{d \theta}{d t} = l \sin \theta \times \dot{\theta}. \quad (8)$$

а кінетична, потенційна енергія і функція Лагранжа:

$$T = \frac{m}{2} [l^2 \dot{\theta}^2 + (r + l \sin \theta)^2 \dot{\varphi}^2], \quad (9)$$

$$U = m g l \cos \theta, \quad (10)$$

$$L = T - U = \frac{m}{2} [l^2 \dot{\theta}^2 + (r + l \sin \theta)^2 \dot{\varphi}^2] + m g l \cos \theta. \quad (11)$$

Складемо рівняння руху системи

$$\begin{cases} \frac{d}{d t} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0, \\ \varphi = \varphi(t). \end{cases} \quad (12)$$

Знайдемо власні похідні функції Лагранжа:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{m}{2} 2(r + l \sin \theta) l \cos \theta \dot{\varphi}^2 - m d l \sin \theta = m l \dot{\varphi}^2 (r + l \sin \theta) \cos \theta - m g l \sin \theta, \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = \frac{m}{2} l^2 2 \dot{\theta} = m l^2 \dot{\theta}, \quad (14)$$

$$\frac{d}{d t} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = m l^2 \ddot{\theta}. \quad (15)$$

Підставляючи (13) - (15) в (12), одержимо:

$$\begin{cases} \ddot{\theta} - \left(\frac{r}{l} + \sin \theta \right) \cos \theta \dot{\phi}^2 + \frac{g}{l} \sin \theta = 0, \\ \phi = \phi(t). \end{cases} \quad (16)$$

Розглянемо випадок повороту крана з постійною кутовою швидкістю ω . Тоді $\dot{\phi} = \omega = \text{const}$. Початкові умови для розв'язку системи:

$$\theta(0) = 0; \quad \dot{\theta}(0) = 0; \quad (17)$$

Розв'язок системи (16) за даних умов буде описуватися рівнянням гармонійних коливань:

$$\theta = A \sin^2(\Omega t), \quad (18)$$

де амплітуда A і кругова частота Ω цих коливань визначаються по формулах:

$$A = 2\theta_0 = \frac{2\omega^2}{\frac{g}{l} - \omega^2} \frac{r}{l}. \quad (19)$$

$$\Omega = \frac{\sqrt{\frac{g}{l} - \omega^2}}{2}. \quad (20)$$

Для зручності подальшого аналізу перетворимо систему (16), увівши наступні параметри: $\alpha = \frac{r}{l}$, $\beta = \frac{g}{l}$. Тоді вирази (16, 19, 20) приймуть вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{\theta} - (\alpha + \sin \theta) \cos \theta \dot{\phi}^2 + \beta \sin \theta = 0, \\ \phi = \phi(t). \end{cases} \quad (21)$$

$$A = \frac{2\omega^2}{\beta - \omega^2} \alpha. \quad (22)$$

$$\Omega = \frac{\sqrt{\beta - \omega^2}}{2}. \quad (23)$$

Розв'яжемо систему (21) чисельними методами, використовуючи початкові умови (17). Проаналізуємо вплив параметрів α , β , ω на амплітуду коливань [6-8].

Виходячи з того, що вантаж не повинен відхилятися більш ніж на 90° , тому що його траєкторію в цьому випадку не можна представити у вигляді окружності, можна виявити область значень α і β , при якій для даної кутової швидкості амплітуда коливань не перевищує 90° .

Графіки представлені на рис. 2. Заштрихованою частиною на графіках показані значення, при яких амплітуда перевищує 90° .

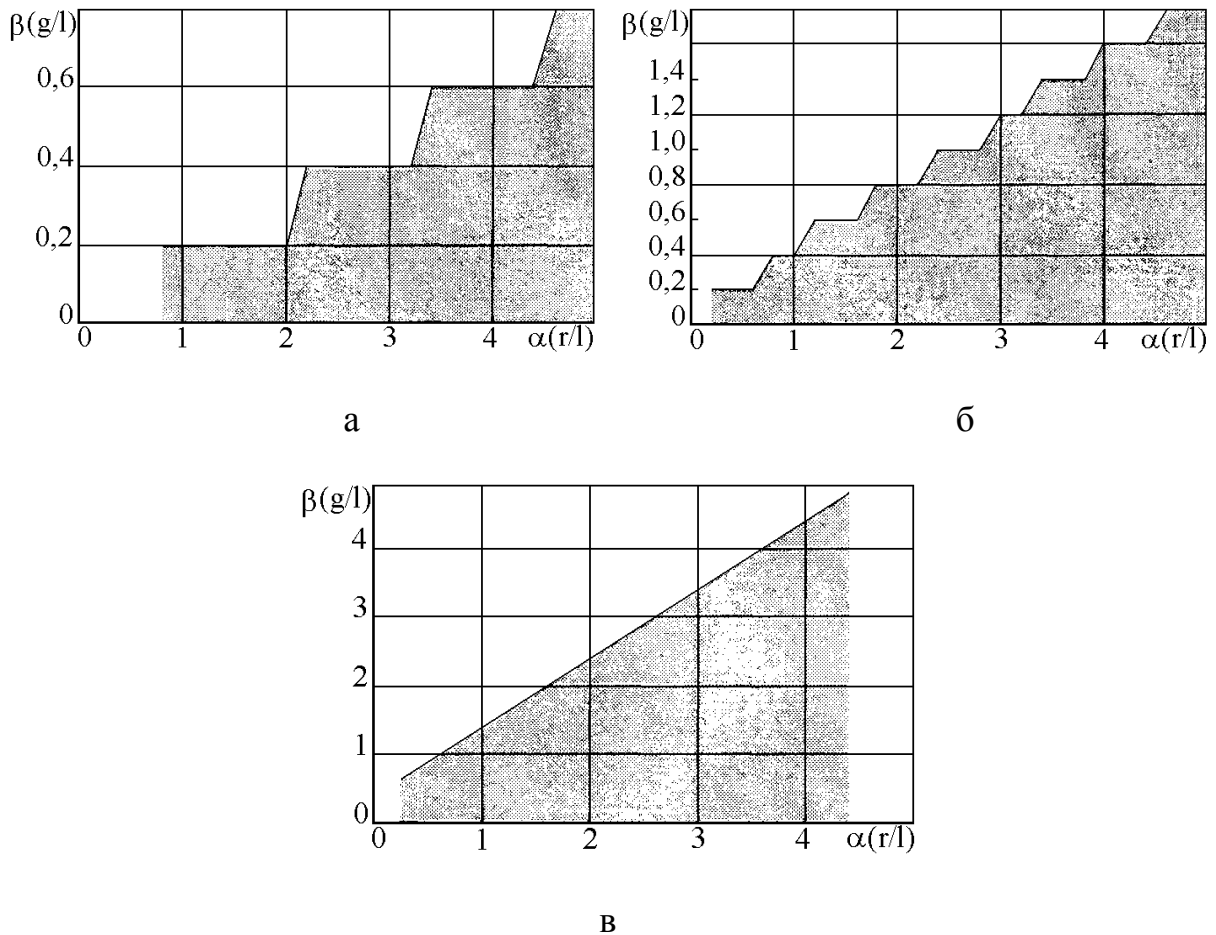


Рис. 2 – Взаємозв'язок значень α і β , при яких значення амплітуди перевищує 90° : а – $\omega = 0,4$; б – $\omega = 0,6$; в – $\omega = 1,0$

Таким чином, розглянутий випадок рівномірного повороту стріли крана і виявлена залежність амплітуди коливання вантажу від геометричних параметрів $\frac{r}{l}$, $\frac{g}{l}$ і кутової швидкості повороту ω .

Розглянемо випадок нерівномірного нерівноприскореного повороту стріли крана, тобто $\ddot{\varphi} \neq 0$. Для дослідження даного руху необхідно задати таку залежність кутової швидкості повороту крана від часу, яка найбільше точно відповідала б руху реальної машини [9-11]. У наближенні її графік можна представити як чверть періоду синусоїди. При цьому залежність кутової швидкості повороту стріли крана від часу буде мати вигляд

$$\omega(t) = \omega_0 \sin^2\left(\frac{\pi}{2t_n}t\right), \quad (24)$$

де ω_0 - кутова швидкість повороту стріли крана; t_n - час пуску механізму повороту.

В результаті одержимо залежності максимального кута відхилення канату від вертикалі при зміні α і β від 0,2 до 5 (рис. 2, 3). В розрахунках прийнято час пуску, рівний $t_n = 5$ с, згідно з рекомендаціями ВНДІПТМаша [6].

Враховуючи, що відхилення канату від вертикалі не може перевищувати 90° , то знайдемо область значень α і β , де це відхилення припустиме. На рис. 3 заштрихована частина являє собою область взаємозалежних значень, для яких кут відхилення канату від вертикалі перевищує допустимий.

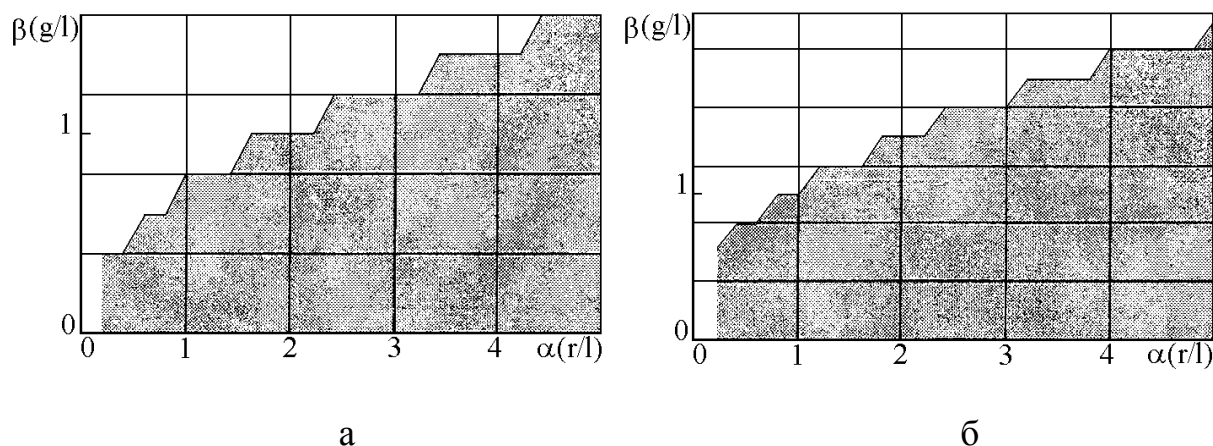


Рис. 3 – Значення α і β , при яких кут відхилення канату від вертикалі перевищує 90° : а – $\omega = 0,8$; б – $\omega = 1,0$

Висновки. Запропонована математична модель стрілової системи крана з 2 ступенями свободи. Розглянуті варіанти руху ведучої ланки (стріли) – рівномірний і нерівномірний нерівноприскорений поворот. Розроблена математична модель є частиною узагальненої моделі крана і може бути використана для створення процесів оптимального керування крановими механізмами.

Визначені значення параметрів α і β , граничні значення кутової швидкості повороту стріли крана $\omega(t)$, при яких може виникнути порушення техніки безпеки устаткування.

Слід виключити такі режими експлуатації стрілових кранів з технологічних карт вантажно-розвантажувальних робіт, які можуть привести до створення умов порушення техніки безпеки з травмуванням і навіть до загибелі людей.

Список літератури: 1. Найдено Е.В. Микропроцессорное управление асинхронным электроприводом механизма поворота с подвешенным грузом / Е.В. Найдено // Электротехнические и компьютерные системы. - 2009. - Вып. 73. - С. 16-20. 2. Тепляков А.Г. Реализация оптимального управления частотным электроприводом механизма поворота / А.Г. Тепляков // Электромашиностроения та електрообладнання. - 2004. - Вип. 62. - С. 36-39. 3. Wilcox D.C. Turbulence Modeling for CFD / D.C. Wilcox // La Canada, California. - 1994. - 477 P. 4. Schossan P. Horizontalbewegung schwerer Autocrane durch die Fluidtechnik / P. Schossan // Hebereuge und Fordermittel. - 1985. - № 9. - С. 208. 5. Ловейкін В.С. Нелінійні маятникові коливання вантажу на гнучкому підвісі при різних режимах обертання / В.С. Ловейкін, А.В. Бойко, Ю.В. Човнюк // Вісник НТУУ. - 2010. - Том 15. - № 3.- С. 41-48. 6. Иванченко Ф.К. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко и др. - К.: Вища школа, 1978. - 576 с. 7. Hajduk J. Losowosc w obliczeniach wytrzymałości maszyn roboczych / J. Hajduk // Przegląd Mechaniczny. - 1975. - Т. 34, nr. 15 - S. 485-488. 8. Mendera Zbigniew. Melody tworzenia kombinayi obnazen w zastosowanin do norm projektowania / Zbigniew Mendera // Stud. Zakr. Inz. 1987. - № 27. - L. 59-84. 9. Приймаков О.Г. Визначення енергокінематичних параметрів кулькових млинів для виготовлення вогнегасних порошків / О.Г. Приймаков, Ю.О.

Градиський // Проблемы пожарной безопасности. - 2013. - Вып. 33. - С. 147-156. 10. Zaretsky A.A., Shapiro H.I. Overturning stability of a free standing crane under dynamic loading / A.A. Zaretsky, H.I. Shapiro // Sae technical paper series. September 8-10. - 1997. - № 972721.-10 - P. 158 11. Williams W.M. An analysis of six fatigue failures in cranes / W.M. Williams - Metal. Progr. - 1981 - N2, 120 - P. 46-51.

Bibliography (transliterated): 1. Naydenko E.B. (2009) Mikroprotsessornoe upravlenie asinhronnym elektropivodom mehanizma povorota s podveshennym gruzom. – J. Elektrotehnicheskie i kompyuternye sistemy, 73, 16-20. 2. Teplyakov A.G. (2004) Realizatsiya optimalnogo upravleniya chastotnym elektropivodom mehanizma povorota. – J. Elektromashinobuduvannya ta elektroobladnannya, 62, 36-39. 3. Wilcox D.C. (1994) Turbulence Modeling for CFD. – La Canada, California, 477 P. 4. Schossan P. (1985) Horizontalbewegung schwerer Autocrane durch die Fluidtechnik. – Hebereuge und Fordermittel, 9, 208 P. 5. Loveykin B.C., Boyko A.V., Chovnyuk Yu.V. (2010) NelInlynI mayatnikovI kolivannya vantazhu na gnuchkomu pldvIsI pri rIznih rezhimah obertannya. – J. Visnik TNTU, 3, V. 15, 41-48. 6. Ivanchenko F.K. (1978) Raschetyi gruzopod'emnyih i transportiruyuschih mashin. - Kiev: Vischa shkola, 576 P. 7. Hajduk J. (1975) Losowosc w obliczeniach wytrzymaosci maczyn rabocznych. – Przegląd Mechaniczny, 15, V. 34, 485-488. 8. Mendera Zbigniew (1987) Melody tworzenia kombinayi obnazen w zastosowanin do norm projektowania. – Stud. Zakr. Inz., 27, 59-84. 9. Priymakov O.G., Gradiskiy Yu.O. (2013) Vznachennya energokinematichnih parametrIv kulkovih mlinIv dlya vigotovlennya vognegasnih poroshkIv. – Problemyi pozharnoy bezopasnosti, 33, 147-156. 10. Zaretsky A.A., Shapiro H.I. (1997) Overturning stability of a free standing crane under dynamic loading. – Sae technical paper series, 972721, 10, P. 158 11. Williams W.M. (1981) An analysis of six fatigue failures in cranes. – J. Metal. Progr., 2, 120, 46-51.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 656.212

О. О. МАЗУРЕНКО, канд. техн. наук, доц., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ

Розглянуто можливість розробки системи підтримки прийняття рішень при оперативному управлінні організацією вагонопотоків. Дана система повинна базуватися на існуючих автоматизованих системах, використовувати їх інформаційну базу. Крім цього система підтримки прийняття рішень повинна оцінити всі можливі варіанти за допомогою імітаційного моделювання та запропонувати раціональне рішення з урахуванням всіх впливаючих факторів. Іл.: 2. Бібліогр.: 16 назв.

Ключові слова: вагонопоток, двогрупний поїзд, імітаційна модель, система підтримки прийняття рішень.

Вступ. Прибутки залізниці в значній мірі залежать від раціональної організації вагонопотоків в поїзди. Аналізуючи номенклатурні статті витрат можна зробити висновок, що затрати на організацію вагонопотоків становлять близько 80% від усіх витрат вантажних перевезень. За умов ринкових відносин залізниця повинна мінімізувати свої затрати, при чому основним напрямком повинно бути раціональна організація роботи та удосконалення системи організації вагонопотоків.

© О. О. МАЗУРЕНКО 2014

Постановка проблеми. Удосконалення системи організації вагонопотоків є найбільш пріоритетним напрямком підвищення ефективності роботи залізничного транспорту в сучасних умовах функціонування. В останні роки наукові дослідження були спрямовані на покращення якісних та кількісних показників роботи підрозділів, а також на удосконалення коригування плану формування поїздів (ПФП) в оперативних умовах при погодженій організації групових поїздів [1–3]. Розробка ПФП базується на загальнодобових планах вагонопотоків і не враховує їх структурних та кількісних коливань протягом сезонів року, днів тижня та годин доби [4]. Тому організацію вагонопотоків, яка б враховувала ці фактори, доцільно розглядати в оперативних умовах.

Результати досліджень багатьох науковців показали, що в певних оперативних умовах формування двогрупних поїздів на технічних станціях має значний ефект [5, 6]. Рішення про оперативне формування двогрупного поїзда повинно базуватися на наявності економії витрат у порівнянні з направленням даних груп вагонів у одногрупних поїздах. Така методика вже розроблена та наведена в роботі [6]. Але оцінювання поточної ситуації на станції та прийняття рішення про керування процесом поїздоутворення залежить лише від суб'єктивної оцінки оперативного персоналу. При цьому необхідно виконати значний обсяг розрахунків, що в оперативній ситуації зробити неможливо. Звідси постає питання створення та впровадження систем підтримки прийняття рішень (СППР), які б допомогли оперативному персоналу приймати економічно обгрунтовані та раціональні рішення за короткий час.

Аналіз досліджень та публікацій. В останні роки багато вчених та наукових організацій почали працювати у напрямку створення СППР для різних задач, які вирішуються на залізничному транспорті. Так в роботі [7] відзначається, що інформаційно-технологічна підтримка прийняття рішень дозволяє реалізовувати комплексне наскрізне планування перевізної роботи на сітьовому, регіональному та лінійному рівнях з урахуванням обмежень, які накладаються експлуатаційними процесами. При цьому така система є техніко-технологічною оболонкою, наповнення якої інтелектуальними технологіями перетворить її із інформаційної в інтелектуальну. Серед інших питань, які може вирішувати система з застосуванням штучного інтелекту можна виділити наступні:

- персоніфікація відповідальності та жорстка технологічна дисципліна оперативного та диспетчерського персоналу;
- можливість автоматизованого наскрізного контролю певних елементів затрат при виконанні технологічних процесів;
- оперативне прогнозування та вартісна оцінка невиробничих витрат.

В роботі [8] відмічається, що існуючі системи АСУ, які б рекомендували в оперативних умовах найбільш раціональний варіант дій, на сьогодні відсутні. На даний момент існуючі комплекси являються за своєю сутністю інформаційними базами даних. Але вже існує теоретична розробка такого комплексу, яка отримала назву «Єдина інтелектуальна система управління та автоматизації виробничих процесів на залізничному транспорті» (ІСУЗТ). Передбачається, що дана система буде вирішувати наступні задачі:

- квазіоптимальне перепланування в реальному часі на основі прогнозування розвитку ситуації у випадку розходження плану з фактом;
- ситуаційну інформованість кожного виробничого вузла про хід виробничих процесів.

На даний час СППР, згідно [9], повинні забезпечувати:

- застосування засобів аналітичної обробки інформації для підтримки прийняття рішень;
- побудову інформаційно-керуючих систем на базі оптимізаційних та імітаційних моделей.

Аналіз результатів досліджень показав, що на даний момент існує певна концепція створення СППР, визначені основні задачі, які вона повинна вирішувати. Така система повинна базуватися або використовувати існуючі автоматизовані системи та їх інформаційну базу. Але дані пропозиції не вказують, яким чином та на основі яких алгоритмів необхідно реалізовувати розроблену концепцію створення СППР.

Основна частина. Система оперативного керування поїздоутворенням, що діє на даний момент в Україні, дозволяє застосовувати формування двогрупних поїздів на базі попутних призначень ПФП в оперативних умовах. Основний фактор, який впливає на прийняття рішень щодо формування окремого двогрупного поїзда, є прогноз надходження вагонів на обрані призначення ПФП. Планування оперативної роботи на залізницях України виконується на період 4-6 годин. При цьому, на головній станції формування враховується оперативний стан самої станції (кількість вагонів окремих попутних призначень, наявність поїзних та маневрових локомотивів та інше) та прилеглих до неї підходів. Володіючи цією інформацією можна виконати оперативний прогноз роботи станції та прийняти певне рішення щодо оперативного втручання в процес поїздоутворення.

Надходження вагонів на станцію та доцільність оперативного формування окремого двогрупного поїзда спрогнозувати в «ручному» режимі майже неможливо. Отже необхідно вирішувати проблему створення СППР, яка б дозволила оперативно оцінити варіанти та прийняти економічно обґрунтоване рішення щодо процесу організації вагонопотоків.

Створення СППР для підтримки рішень в оперативному управлінні процесом організації вагонопотоків повинно базуватися на попередньому моделюванні функціонування як окремої станції, де приймається рішення про оперативне формування двогрупного поїзда, так і для всього залізничного напрямку.

Для цього можна використати концепцію вже розробленої моделі, яка наведена в [10]. В даній роботі залізничний напрямок та окрема технічна станція, розглядається як складні керовані системи масового обслуговування (СМО), що складаються з багатьох різних елементів, які в процесі роботи тісно взаємодіють між собою та мають взаємний вплив (станції, ділянки, колії, бригади технічного обслуговування та ін.). Розроблена функціональна модель залізничного напрямку (ФМН) є дворівневою. При цьому на макрорівні моделюється робота всього

напрямку в цілому, а на мікрорівні – робота кожної окремої технічної станції напрямку. Структура ФМН та схема взаємодії її моделей наведена на рисунку 1.

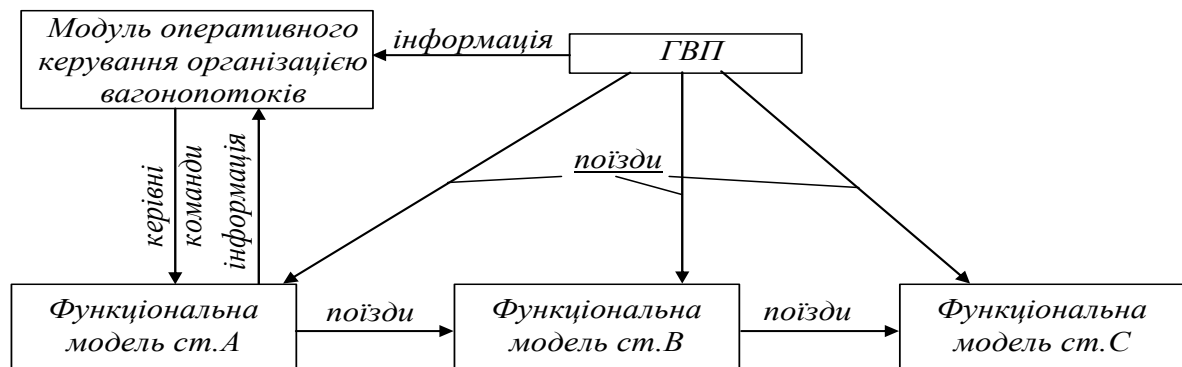


Рис.1 – Структура функціональної моделі залізничного напрямку

Структура ФМН включає в себе наступні моделі:

- генератор вхідного потоку поїздів (ГВП);
- модель оперативного керування організацією вагонопотоків (МОКЗН);
- функціональні моделі роботи кожної окремої технічної станції напрямку (ФМС).

Генератор вхідного потоку призначений для моделювання надходження поїздів на кожну станцію з тих підходів, які не входять до складу даного залізничного напрямку. Моделювання надходження заявок на окрему станцію з тих станцій, які входять до даного напрямку, виконується за результатами роботи попередньої станції та з використанням графікової тривалості руху поїздів.

Для моделювання оперативних рішень поїзного диспетчера щодо можливості формування на головній станції двогрупного поїзда до складу ФМН включено модуль оперативного керування залізничним напрямком (МОКЗН). Оцінювання та прийняття рішення щодо формування окремого двогрупного поїзда виконується відповідно до спеціально розробленої процедури, яка приведена в роботі [10].

Дана модель функціонування залізничного напрямку дозволяє отримати необхідні експлуатаційні показники роботи як окремої станції за певний період, так і залізничного напрямку в цілому при різних системах організації вагонопотоків. Також, за допомогою імітаційної моделі залізничного напрямку, можна отримати значення загальних витрат на організацію вагонопотоків по варіантах оперативного коригування плану формування.

Крім цього цікавим є досвід бостонських вчених у створенні імітаційних моделей функціонування залізничної мережі. Одним із напрямків вирішення задачі щодо оперативного формування двогрупних поїздів є використання сучасних математичних методів прогнозування та управління експлуатаційною роботою в області “Soft Computing” [11], які можуть реалізувати процес інтелектуального планування перевезеннями за умови обліку експлуатаційної ситуації на сортувальних станціях та нерівномірності формування вагонопотоків. Для надання системі властивостей адаптивного управління вагонопотоками використано модель оперативного прогнозування вагонопотоків на основі нейро-

нечіткої мережі типу NEFPROX (Neuro-Fuzzy function approximator) [12, 13]. На рисунку 2 представлена архітектура мережі NEFPROX.

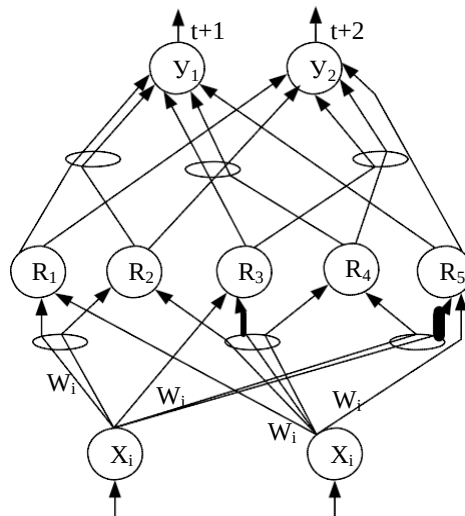


Рис. 2 – Архітектура мережі NEFPROX для оперативного прогнозування вагонопотоків

Система NEFPROX для оперативного прогнозування вагонопотоків представляє собою спеціальний тришаровий нечіткий перцептрон. В якому вхідні нейрони, позначені як x_i , де $i=1, \dots, M$, умовно відповідають станціям мережі та моделюють кількість вагонів U_i , де $i=1, \dots, n$, що знаходяться на цих станціях і призначені згідно ПФП до відправлення на станцію, для якої необхідно розрахувати можливість організації групового поїзду.

Така інформація може бути отримана для кожного кроку роботи мережі з системи АСК ВП УЗ. Згідно отриманого на перспективу до двох діб прогнозу підводу вагонопотоків на станцію, розраховується можлива тривалість простою вагонів під накопиченням, що на початок періоду планування вже знаходяться на цій станції та призначені для виділення в самостійні напрямки згідно діючого ПФП. Це, в свою чергу, дозволяє порівняти прогнозну тривалість накопичення таких вагонів з встановленим часом простою вагонів під накопиченням, який визначає мінімальний розмір добового вагонопотоку одного призначення для обов'язкового відправлення в спеціалізованих поїздах.

Для реалізації задачі оперативного визначення доцільності формування двогрупного поїзда в роботі розроблено модель оперативного коригування ПФП, яка базується на еволюційному моделюванні варіантів формування поїзда зі змінними сполученнями груп вагонів, що включаються до складу двогрупного поїзда.

З позиції запропонованого підходу процес пошуку оптимального варіанту організації групового поїзда можна моделювати на основі генетичного алгоритму [14–16]. Це дозволить шляхом послідовного підбору, комбінування й варіації пошукових параметрів задачі коригування ПФП за допомогою еволюційного механізму вибирати раціональний варіант об'єднання груп вагонів для організації групового поїзда в діючих умовах експлуатаційної роботи полігону мережі.

Висновки. Більш глибоке впровадження оперативного управління організацією вагонопотоків (в тому числі і за рахунок формування групових поїздів) дозволить скоротити витрати залізниць України на організацію вагонопотоків без додаткових капітальних вкладень. Але прийняття економічно вигідних рішень серед можливих варіантів організації вагонопотоків потребує значного часу на їх порівняння оперативним персоналом. Для прискорення та підвищення достовірності прийнятого рішення необхідно розробити СППР, яка повинна базуватися на існуючій інформаційній базі та автоматизованих системах. Але в розроблених СППР всі задачі повинні бути спочатку змодельовані на відповідних типових імітаційних моделях, які можуть бути досить швидко адаптовані для конкретних об'єктів залізниць з урахуванням їх техніко-технологічних особливостей. Вироблені СППР раціональні рішення повинні бути надані оперативному персоналу для прийняття остаточних управлінських рішень. Це дозволить з більшою оперативністю реагувати на зміну поточної ситуації на різних рівнях управління процесом перевезень.

Список літератури: 1. *Бородин, А. Ф.* Управление вагонопотоками в современных условиях [Текст] / *А. Ф. Бородин* // Ж.д. транспорт. – 1996. – №5. – С.10 -15. 2. *Кужель, А. Л.* Информационно-аналитические технологии оперативной корректировки и контроля выполнения плана формирования поездов [Текст] / *А. Л. Кужель, И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин* // Ж.д. транспорт. – 2011. – №7. – С.13 -20. 3. *Прохорченко, А. В.* Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / *А. В. Прохорченко, Л. В. Корженівський* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – №6/6(36). – С.37-40. 4. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст] / Міністерство транспорту та зв'язку України, державна адміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця. – К: ТОВ «Швидкий рух». – 2005. – 100 с. 5. *Иловайский, Н. Д.* Организация вагонопотоков в условиях рынка [Текст] / *Н. Д. Иловайский, А. М. Рудых, Л. А. Каштанов* // Вестник ВНИИЖТ. – 1998. – Вып. 4. – С.43-48. 6. *Мазуренко, О. О.* Визначення ефекту від оперативного формування двогрупних поїздів на базі одnogрупних призначень [Текст] / *О. О. Мазуренко* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/3(54). – С.23-28. 7. *Погодин, А. Е.* Интеллектуальные транспортные системы на железнодорожном транспорте [Електронний ресурс] / *А. Е. Погодин, В. Г. Матюхин* // Евразия Вести. – 2012. – № IX. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2012-09a20>. 8. *Матюхин, В. Г.* Управление железной дорогой онлайн. [Електронний ресурс] / *В. Г. Матюхин* // Пульс управления. – 2011. – № 3. – Режим доступа: <http://www.pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=899785>. 9. *Мишарин, А.* Информатизация железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики. [Електронний ресурс] / *А. Мишарин* // Проблемы теории и практики управления. – 2003. – № 3. – Режим доступа: http://vasilieva.narod.ru/ptpu/7_3_03.htm. 10. *Вернигора, Р. В.* Дослідження ефективності технології формування двогрупних поїздів в оперативних умовах з використанням імітаційної моделі роботи залізничного напрямку / *Р. В. Вернигора, О. О. Мазуренко* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» – 2011. – №53. – С.89-95. 11. *Zadeh, L. A.* Fuzzy logic and soft computing: Issues, contentions and perspectives in Proc. IIZUKA'94: 3rd Int. Conf. Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing, Iizuka, Japan, 1994, pp. 1–2. 12. *Nauck Detlef.* Designing neuro-fuzzy systems through backpropagation [Text] / *Detlef Nauck, Rudolf Kruse* // Fuzzy Modelling: Paradigms and Practice – 1996. – P. 203-228. 13. *Abdul-Rahman Omar.* An adaptive Parameters Binary-Real Coded Genetic Algorithm for Real Parameter Optimization: Performance Analysis and Estimation of Optimal Control Parameters [Text] / *Omar Abdul-Rahman, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama* // International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 2. – 2012. – № 1. – P. 37-53. 14. *Wright, A.* Genetic

algorithms for real parameter optimization [Text] / A. Wright // Foundations of Genetic Algorithms, Vol. 1. – 1991. – P. 205-218. **15.** Blanco, A. A real-coded genetic algorithm for training recurrent neural networks [Text] / A. Blanco, M. Delgado, M. C. Pegalajar. // Neural Networks. – 2001. – № 14 – P. 93-105. **16.** Nirmala, G. A Genetic Algorithm Based Railway Scheduling Model [Text] / G. Nirmala, D. Ramprasad // International Journal of Science and Research, Vol. 3, Issue 1. – 2014. – P. 11-14.

Bibliography (transliterated): **1.** Borodin, A. F. (1996). Upravlenie vagonopotokami v sovremennykh usloviyakh. Zh.d. transport. №5, 10-15. **2.** Kuzhel, A. L., Shapkin, I. N., Vdovin, A. N. (2011). Informatsionno-analiticheskie tehnologii operativnoy korrektsirovki i kontrolya vyipolneniya plana formirovaniya poezdov. Zh.d. transport. №7, 13-20. **3.** Prohorchenko, A. V., Korzhenivskiy, L. V. (2008). Udoskonalennyya tehnologiyi koreguvaniya planu formuvannya poyizdiv na osnovi pogodzhenoï organizatsiyi grupovih poyizdiv operativnogo pryznachennya. Shidno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy. №6/6(36), 37-40. **4.** Instruktivni vказivki z organizatsiyi vagonopotokiv na zaliznitsyah Ukrayini. Ministerstvo transportu ta zv'yazku Ukrayini, derzhavna administratsiya zaliznichnogo transportu Ukrayini, Ukrzaliznitsya. – K: TOV «Shvidkiy ruh». 2005, 100. **5.** Ilovayskiy, N. D., Rudyih, A. M., Kashtanov, L. A. (1998). Organizatsiya vagonopotokov v usloviyakh ryinka. Vestnik VNIIZhT. Vyip. 4, 43-48. **6.** Mazurenko, O. O. (2011). Vyznachennya efektu vid operativnogo formuvannya dvogrupnih poyizdiv na bazi odnogrupnih pryznachen. Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy. №6/3(54), 23-28. **7.** Pogodin, A. E., Matyuhin, V. G. (2012). Intellektualnyie transportnyie sistemyi na zheleznodorozhnom transporte. Evraziya Vesti. № IX. Rezhim dostupa: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2012-09a20>. **8.** Matyuhin, V. G. (2011). Upravlenie zheleznoy dorogoy onlayn. Pult upravleniya. № 3. Rezhim dostupa: <http://www.pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=899785>. **9.** Misharin, A. (2003). Informatizatsiya zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh ryinochnoy ekonomiki. Problemyi teorii i praktiki upravleniya. № 3. Rezhim dostupa: http://vasilievaa.narod.ru/ptpu/7_3_03.htm. **10.** Vernigora, R. V., Mazurenko, O. O. (2011). Doslidzhennya effektivnosti tehnologiyi formuvannya dvogrupnih poyizdiv v operativnih umovah z vikoristannyam imitatsiynoyi modeli roboti zaliznichnogo napryamku. Visnuk Natsionalnogo tehnikhnogo universitetu «Harkivskiy politekhnichniy institut». №53, 89-95. **11.** Zadeh, L. A. (1994). Fuzzy logic and soft computing: Issues, contentions and perspectives in Proc. IIZUKA'94: 3rd Int. Conf. Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing, p. 1–2. **12.** Detlef Nauck, Rudolf Kruse. (1996). Designing neuro-fuzzy systems through backpropagation. Fuzzy Modelling: Paradigms and Practice. P. 203-228. **13.** Omar Abdul-Rahman, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama. (2012). An adaptive Parameters Binary-Real Coded Genetic Algorithm for Real Parameter Optimization: Performance Analysis and Estimation of Optimal Control Parameters. International Journal of Computer Science Issues. Vol. 9, Issue 2, № 1, 37-53. **14.** Wright, A. (1991). Genetic algorithms for real parameter optimization. Foundations of Genetic Algorithms. Vol. 1, 205-218. **15.** Blanco, A., Delgado, M., Pegalajar, M. C. (2001). A real-coded genetic algorithm for training recurrent neural networks. Neural Networks. № 14, 93-105. **16.** Nirmala, G., Ramprasad, D. (2014). A Genetic Algorithm Based Railway Scheduling Model. International Journal of Science and Research. Vol. 3, Issue 1, 11-14.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 621.327

А. О. СЕМЕНОВ, канд. фіз.-мат. наук, доц., Полтавський університет економіки і торгівлі;

Т. В. САХНО, д-р хім. наук, проф., Полтавський університет економіки і торгівлі;

Г. Д. КОБИЩАН, канд. техн наук, ст. викл., Полтавський університет економіки і торгівлі

МОДЕЛЮВАННЯ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ БАКТЕРИЦИДНОМУ ЗНЕЗАРАЖЕННІ ВОДИ

В роботі представлені результати поширення УФ-випромінювання в воді. Сформовані основні загальні критерії для розробки і проектування УФ-установок для бактерицидного знезараження води. Наведена залежність інтенсивності випромінювання від коефіцієнта проникності. На основі проведених досліджень запропоновано гідродинамічну модель, яка дає можливість розрахувати ефективну дозу бактерицидного знезараження. Запропонована модель враховує чутливість мікроорганізмів до УФ-випромінювання і конструктивні особливості установки.

Ключові слова: УФ-випромінювання, доза бактерицидного знезараження, інактивація мікроорганізмів, гідродинамічна модель.

Вступ. Знезараження води з використанням УФ-випромінювання відноситься до числа фізичних, так званих, безреагентних методів [1]. Ці методи мають ряд істотних переваг перед хімічними реагентними методами, головною з яких є відсутність змін складу і властивостей води.

Опромінювачі для знезараження води поділяються на пристрої навісного типу, коли джерело УФ-випромінювання знаходиться над поверхнею води, і зануреного типу, коли ультрафіолетові лампи в кварцових чохлах знаходяться у воді.

У практиці для знезараження води застосовують установки з зануреними джерелами бактерицидного випромінювання, в яких, на відміну від установок із незануреними джерелами випромінювання, досягається більш висока інтенсивність бактерицидного випромінювання [2]. Лампи в таких установках розміщують у спеціальних кварцових чохлах, прозорих для бактерицидних променів [3].

Загальні умови для розробки і проектування УФ-установок для бактерицидного знезараження води в цілому визначаються наступними умовами:

- витрати води;
- необхідна степінь бактерицидного знезараження;
- якість води (параметри, що визначають не тільки УФ-проникнення, а її фізико-хімічні властивості);
- максимально можливі з технічного або економічного погляду втрати напору води при знезараженні;
- вимоги до енергоефективності;
- вимоги до автоматизації, контролю та управління;
- інші зовнішні умови (приміщення, температурний режим і т.п.).

При розробці УФ-установок для бактерицидного знезараження питної води потрібно враховувати наступні принципи:

- головним критерієм ефективності УФ-знезараження є УФ-доза, значення якої визначається правильним вимірюванням УФ-інтенсивності та її підрахунком в зоні знезараження;

- головною гідродинамічною задачею при проектуванні УФ-установки та її камери опромінювання є необхідність забезпечити при максимальній ефективності знезараження мінімальні втрати напору води.

Слід відмітити, що в загальному випадку при розробці УФ-установок завжди потрібно вирішувати задачі, що протирічать одна одній: кожен об'єм рідини в камері опромінювання повинен отримувати необхідну дозу для бактерицидного знезараження; необхідність максимального використання УФ-випромінювання, яке втрачається на сусідніх джерелах випромінювання або на стінках камери опромінювання за рахунок поглинання; для води з різним коефіцієнтом УФ-проникнення потрібно враховувати необхідну УФ-дозу, збільшення якої можливе за рахунок зменшення міжлампової відстані і т.д.

Якість води, а саме її прозорість для УФ випромінювання в промисловості та комунальному господарстві коливається в значному діапазоні. Вимоги до ступеня і умов бактерицидного знезараження в залежності від характеристик води, забезпечують необхідність розробки УФ-установок для знезараження води із конкретними технічними параметрами. Наприклад для води, що містить велику кількість зважених частинок, необхідно забезпечити відповідну швидкість і умови перебування води в камері опромінення, при яких виключається можливість осідання частинок.

Дослідження і особливості проектування установок для бактерицидного знезараження води за допомогою ультрафіолетового випромінювання представляє складну задачу для дослідників, оскільки фізика води вивчена не достатньо [4].

Мета роботи. Мета роботи полягає в моделюванні гідродинамічних процесів, що відбуваються в установках ультрафіолетового знезараження води, для розробки методики розрахунку ефективної бактерицидної дози знезараження мікроорганізмів.

Методика експериментів. Номенклатура УФ-установок та систем знезараження для різних технологічних процесів, задач і відповідно, характеристик води, достатньо різноманітна і широка. Відомо, що УФ-установки проектуються і будуються з використанням різної елементної бази (тип ламп, пускорегулююча апаратура і т.п.), що суттєво змінює технічні параметри установок в залежності від задачі. Тому при проектуванні установок потрібно детально розглядати і аналізувати умови з врахуванням специфіки їх використання.

При розробці установок для ультрафіолетового (УФ) знезараження води враховують важливу характеристику - УФ-дозу інактивації мікроорганізмів, що забезпечує бактерицидне знезараження [3]. Тому, при встановленні відповідності УФ-установок вимогам нормативної документації потрібно проводити теоретичні розрахунки необхідної УФ-дози, яка визначається з допомогою

експериментальних методів або моделювання [5]. Величина, що характеризує дозу бактерицидного знезараження - УФ-опроміненість, повинна бути не нижче вказаного значення для виду бактерій в будь-якій віддаленій точці камери знезараження від джерела УФ-випромінювання.

Основними характеристиками УФ-установок є: продуктивність, проникність УФ-випромінювання, а також доза УФ-опромінення, що забезпечує бактерицидне знезараження. При конструюванні установок для УФ-знезараження води розробникам потрібно вирішити ряд завдань, що пов'язані з вивченням гідродинамічного потоку, зменшенням втрати напору, досягненням максимального перемішування водневого середовища в зоні опромінення і т. п.

Фізичний процес поширення світла в водному середовищі (поглинаюче середовище) описується законом Бугера-Ламберта-Бера [4], згідно з яким, для паралельного пучка світла з довжиною хвилі λ та інтенсивністю I_0 , що пройшов у поглинаючому середовищі відстань l , інтенсивність визначається формулою:

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l} \quad (1)$$

де k_λ – коефіцієнт поглинання середовища, який залежить від довжини хвилі.

Для зручності, при розрахунку УФ-установок, використовують коефіцієнт проникнення k , який завжди менше 1, що характеризує спад інтенсивності УФ-випромінювання з довжиною хвилі 253,7 нм, при проходженні в водному середовищі певної відстані, наприклад 50 мм, яка визначає допустимий спад величини інтенсивності [6]. У такому випадку інтенсивність I_0 в середовищі з коефіцієнтом проникнення k на пройдений відстані l :

$$I = I_0 k^{\frac{l}{50}} \quad (2)$$

де l – має розмірність [мм]. Коефіцієнт проникнення для кожного середовища визначається експериментально-дослідним шляхом.

Для проведення розрахунків при проектуванні УФ-установок необхідно знати просторовий розподіл інтенсивності випромінювання УФ-лампи, або у разі знезараження води, системи «УФ-лампа+кварцовий чохол» $I(k, x, y)$, де k – коефіцієнт проникнення; x, y – координати в площині, перпендикулярній поздовжній осі лампи.

Розрахунок розподілу інтенсивності проводиться за допомогою чисельних методів. УФ-випромінювач, тобто лампа, поділяється на велику кількість точкових джерел випромінювання: чим більша їх кількість, тим достовірніше результат розрахунку. В такому випадку для кожної фіксованої відстані від осі джерела випромінювання розраховується внесок від кожної випромінюючої точки. При цьому враховується залежність коефіцієнта заломлення і відбиття від довжини хвилі. Якщо розглядати багатолампову систему, розрахунок середньої опроміненості враховує перекривання однієї лампи іншими. Результатом розрахунку є залежність інтенсивності від відстані до осі джерела випромінювання і від координати уздовж осі джерела випромінювання.

Інтенсивність опромінювання є функцією дози опромінення H , розрахунок якої представляє складну задачу. В загальному випадку, для розрахунку

необхідні наступні дані: розподіл інтенсивності УФ- випромінювання в камері знезараження і розрахунок течії потоків води. Для спрощення вирішення даної задачі користуються різними моделями [5, 7]. Скористуємося загальноприйнятою розрахунковою моделлю, яка використовується для УФ-установок, модель - повного перемішування, яка дозволяє розрахувати середню дозу, що необхідна для інактивації мікроорганізмів [3].

Принцип моделі повного перемішування полягає в тому, що кожна елементарна частинка рідини проходить через всі точки УФ-опромінення і перебуває в кожній з них рівні проміжки часу. У моделі повного перемішування середня доза визначається наступною формулою:

$$\langle H \rangle = \langle I \rangle \cdot \langle t \rangle \quad (3)$$

де $\langle I \rangle$ – усереднена інтенсивність в камері знезараження; $\langle t \rangle$ - середній час перебування рідини в камері знезараження.

Середня інтенсивність обчислюється наступним чином:

$$\langle I \rangle = \frac{L}{V} \iint I(k, x, y) dx dy \quad (4)$$

де V – об'єм зони знезараження; L – довжина дуги лампи (міжелектродна відстань); $I(k, x, y)$ – інтенсивність в поперечному перерізі установки в точці з координатами x, y для коефіцієнта проникнення УФ-випромінювання k . Середній час перебування рідини в камері знезараження визначається наступним відношенням:

$$\langle t \rangle = \frac{V}{Q} \quad (5)$$

де Q – продуктивність установки. Таким чином, в моделі повного перемішування середня доза бактерицидного знезараження з врахуванням формул (4) і (5) визначається:

$$\langle H \rangle = \frac{\nu \cdot L}{Q} \iint I(k, x, y) dx dy \quad (6)$$

де ν – коефіцієнт запасу для врахування застійних зон (як правило $\nu \cong 0.8$). Врахування застійних доз є обов'язковим, оскільки конструкція установки, не здатна забезпечити рівномірність потоку для всіх ділянок в камері знезараження.

Перевага моделі повного перемішування полягає у відносній простоті розрахунку і у відсутності залежності від чутливості мікроорганізмів до УФ-випромінювання. Для установок, що використовується для бактерицидного знезараження води цього недостатньо, оскільки модель повного перемішування не дозволяє врахувати вплив різних конструктивних елементів (пристроїв для перемішування, решіток і т. п.). Для вирішення цього недоліку пропонується використовувати гідродинамічне моделювання або експериментальні методи, що дозволяють вимірювати функцію розподілу часу перебування, по якій можна судити про ефективність установки бактерицидного знезараження.

Наявність сучасного програмного забезпечення робить можливим проведення гідродинамічного моделювання і на його основі створити методику

розрахунку ефективної дози бактерицидного знезараження.

Моделювання руху потоків води в установках УФ-знезараження відбувається шляхом чисельного рішення системи рівнянь, що складається з рівняння Нав'є-Стокса.

Розрахунок бактерицидної дози знезараження проводиться наступним чином: об'єм води, що потрапляє в камеру опромінювання і заповнює її, розіб'ємо на елементарні об'єми (струмені), для кожної точки такого струменя відомі компоненти швидкості і координати. Якщо кількість струменів рівна n , а кожний струмінь розділений на i елементарних відрізків, тоді, за визначенням, доза опромінення i -го відрізка n -го струменя визначається :

$$H_i^n = I_i(k) \cdot t_i \quad (7)$$

де t_i – час проходження елементарним об'ємом i -го відрізка; I_i – УФ-інтенсивність на відрізку i , що залежить від пропускання води k . УФ-інтенсивність в будь-якій точці може бути обчислена шляхом підсумовування інтенсивностей всіх ламп.

Доза, отримана n -м струменем, буде дорівнювати:

$$H^n = \sum_i H_i^n \quad (8)$$

Відомо, що дезактивація мікроорганізмів УФ-випромінюванням підпорядковується експоненціальному закону, тобто якщо в кожному елементарному об'ємі води на вході міститься N_0 бактерій (вважаємо, що кількість бактерій на вході розподілена рівномірно), то на виході отримаємо кількість бактерій для n -го струменя:

$$N_n = N_0^n \cdot e^{-qH^n} \quad (9)$$

де q – коефіцієнт, що характеризує чутливість бактерій до ультрафіолету і є індивідуальним для кожного виду бактерій, вірусів і т. д. Тоді загальна кількість бактерій на виході установки N :

$$N = \sum_n N_n \quad (10)$$

а на вході установки:

$$N_0 = \sum_n N_0^n \quad (11)$$

Загальна кількість бактерій на виході установки дозволяє отримати ефективну дозу бактерицидного знезараження H_{ef} :

$$H_{ef} = \frac{\ln N / N_0}{-q} \quad (12)$$

де N_0 – загальне число бактерій на вході в установку.

Таким, чином запропонована модель дає можливість враховувати необхідну дозу інактивації бактерій з врахуванням конструктивних особливостей УФ-установки.

Обговорення результатів. Бактерицидна доза, що отримана вищесказаним чином, враховує чутливість мікроорганізмів до УФ-випромінювання, а також вплив елементів конструкції на ультрафіолетовий потік і, як наслідок, на ефективність бактерицидного знезараження. Модель гідродинамічного протікання води в камері опромінення УФ-установки дозволяє виявити ділянки незнезараженої води, що дає можливість врахувати на стадії проектування конструктивні особливості.

Реальна продуктивність установок знезараження води залежить від концентрації та виду шкідливих мікроорганізмів і може бути визначена дослідним шляхом за результатами аналізу до УФ-обробки і після неї при різній пропускній здатності камери опромінювання і якості води [8]. Для перевірки роботи УФ-установки для знезараження води використовують метод «біотестування», суть якого полягає у визначенні ефективності дії УФ-променів на штампи бактерій, що вирощені в однакових умовах в ході всього «біотестування».

Подібні моделі, що дають можливість враховувати конструктивні особливості пристроїв на стадії проектування, можуть бути використані для розрахунку ефективної дози опромінення УФ-установок, що працюють по принципу, наприклад, поперечного протікання води.

В багатьох випадках при проектуванні УФ-установок потрібно враховувати також показники їх міцності, які забезпечують знезараження води, що знаходиться під тиском від 1 до 10 атм. і більше. Оскільки в УФ-установках використовуються крихкі матеріали: кварцові чохла, лампи, тому потрібно створити конструкцію, в якій напруженість нижча за межі текучості. Для цього необхідно врахувати і забезпечити мінімальні деформації в місцях кріплення кварцових чохла або ламп. Для перевірки конструктивних рішень, що закладені в установці, використовують комп'ютерні розрахунки статистичної міцності. Крім того потрібно враховувати резонансні явища на окремих вузлах УФ-установках. Так для УФ-установок бактерицидного знезараження води небезпечними є частоти роботи насосів, що подають воду. Віддаленість УФ-установок від джерела частоти є необхідною умовою при проектуванні та їх розміщенні.

Висновки. Запропонована гідродинамічна модель дає можливість провести розрахунки необхідної бактерицидної дози інактивації мікроорганізмів, що враховує їх чутливість до УФ-випромінювання з урахуванням конструктивних особливостей установки. Модель на стадії проектування і розробки враховує найбільш необхідні умови створення УФ-установок, які на практиці забезпечать з врахуванням часу опромінення необхідний результат ефективності бактерицидного знезараження.

Подібний модельний підхід можна використати і для розрахунку УФ-пристроїв для бактерицидного знезараження повітря [9]. Математична модель для пристроїв бактерицидного знезараження повинна враховувати коефіцієнт багатократного відбивання, що вносить свій внесок у сумарну УФ-дозу і залежить від оптичних властивостей матеріалу в УФ-області [6].

Список літератури: 1. Gray, N. F. Ultraviolet Disinfection [Text] /_N. F. Gray // Microbiology of Waterborne Diseases. - 2014. - № 2. - P. 617-630. 2. Stephen, B. Germicidal ultraviolet irradiation.

Modern and effective methods to combat pathogenic microorganisms [Text] / B. Stephen, Jr. Martin, D. Chuck, James D. Freihaut, William P. Bahnfleth, Josephine Lau, Ana Nedeljkovic-Davidovic [Text] // ASHRAE JOURNAL, 2008 – Т. 50 № 8. **3.** Вассерман, А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний [Текст] / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев // Медицина. - Москва, 2003. – 208 с. **4.** Антонченко В. Я. Основы физики воды [Текст] / В. Я. Антонченко, А. С. Давыдов, В. В. Ильин // Киев. Изд-во Наук. Думка, 1991, - 672 с. **5.** Kowalski, W. J. Mathematical Modeling of UVGI for Air Disinfection [Text] / W. J. Kowalski, W. Bahnfleth, D. L. Witham, B. F. Severin, T. S. Whittam // Quantitative Microbiology 2. - 2000. – P. 34–38. **6.** Семенов, А. О. Ультрафіолетове випромінювання та оптичні властивості матеріалів в УФ-області [Текст] / А. О. Семенов, А. Д. Кобишчан, Н. В. Семенова // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 76-80. **7.** Elyasi, S. Simulation of UV photoreactor for water disinfection in Eulerian framework [Text] / S. Elyasi, F. Taghipour // Chemical Engineering Science. – 2006. – Т. 61, № 14. - P. 4741 - 4749. **8.** Sharifi-Yazdi, M. K. Inactivation of pathogenic bacteria using pulsed UV-light and its application in water disinfection and quality control [Text] / M. K. Sharifi-Yazdi // Acta Medica Iranica. – 2006. – Т. 44, № 5. – P. 305 - 306. **9.** Semenov, A. A. Bactericidal irradiators for ultraviolet disinfection of indoor air [Text] / A. A. Semenov, G. M. Kozhushko // European Applied Sciences. – 2013. – Т. 1, № 13. – 226 - 228.

Bibliography (transliterated): **1.** Gray, N. F. (2014). Ultraviolet Disinfection. Microbiology of Waterborne Diseases, 2, 617-630. **2.** Stephen, B. Martin, Jr., Chuck, D., James, D. Freihaut, William, P. Bahnfleth, Lau, J., Nedeljkovic-Davidovic, A. (2008). Germicidal ultraviolet irradiation. Modern and effective methods to combat pathogenic microorganisms. ASHRAE JOURNAL, Vol. 50, №8. **3.** Wasserman A. L., Shandala M. G., Yuzbashev V. G. (2003). Ultraviolet radiation in the prevention of infectious diseases. M: Medical, 208 p. **4.** Antonchenko, V., Davydov, A., Ilyin, V. (1991). Basic physics of water. Kiev. Publishing House of Science Dumka. - 672 p. **5.** Kowalski, W. J., Bahnfleth, W., Witham, D. L., Severin B. F., Whittam T. S. (2000). Mathematical Modeling of UVGI for Air Disinfection. Quantitative Microbiology, 2, 34–38. **6.** Semenov, A., Kobischan, A., Semenova, N. (2014). Ultraviolet radiation and the optical properties of materials in the UV region. Collection of scientific papers SWorld. – Vol. 2, № 1, 76 - 80. **7.** Elyasi, S., Taghipour F. (2006). Simulation of UV photoreactor for water disinfection in Eulerian framework. Chemical Engineering Science. - Vol. 61, № 14, 4741 - 4749. **8.** Sharifi-Yazdi, M. K. (2006). Inactivation of pathogenic bacteria using pulsed UV-light and its application in water disinfection and quality control. Acta Medica Iranica. – Vol. 44, № 5, 305 - 306. **9.** Semenov, A. A., Kozhushko, G. M. (2013). Bactericidal irradiators for ultraviolet disinfection of indoor air. European Applied Sciences. – Vol. 1, № 13, 226 - 228.

Надійшла (received) 17.06.2014

УДК 661.961.1

Н. Ф. ДОБРИЦКАЯ, аспирант, НТУ «ХПИ»;

В. Б. ТРОШЕНЬКИН, канд. техн. наук, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного Национальной академии наук Украины, Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕРМОДИНАМИКИ НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В РЕАКЦИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ВОДОЙ

В статье проанализированы преимущества и недостатки методов термодинамики необратимых процессов и диффузионной кинетики, описывающих закономерности выделения водорода в реакциях взаимодействия алюминиевых сплавов с водой. Предложено принять за меру движущей силы реакции химический потенциал, а факторы, тормозящие процесс, могут быть

© Н. Ф. ДОБРИЦКАЯ, В. Б. ТРОШЕНЬКИН 2014

приравнены к трению. Для соблюдения баланса прихода и отвода тепла скорость выделения водорода следует определять в два этапа. На первом этапе необходимо оценить интенсивность теплоотдачи и по ней найти количество выделяемого водорода в единицу времени. На втором этапе та же скорость рассчитывается в зависимости от располагаемого химического потенциала с учетом кинетического, адсорбционного и диффузионного сопротивлений. Причем химический потенциал определяется для поверхностных слоев. Библиогр.: 35 назв.

Ключевые слова: термодинамика, скорость выделения водорода, алюминиевые сплавы, полнота реакции, химический потенциал.

Введение. В перспективе в связи с непрерывным увеличением стоимости угля и углеводородов вода будет главным источником получения водорода. Высокая калорийность и отсутствие вредных веществ в продуктах сгорания определяют значительные преимущества водорода по сравнению с другими видами топлив. Вполне возможно, что применяемая в настоящее время на метеостанциях технология является прообразом тех многотоннажных производств водорода, которые в недалеком будущем займут свое достойное место в промышленности высокоразвитых стран. По этой причине не снижается интерес к исследованию закономерностей взаимодействия сплавов с водой. Для описания явления во всей полноте приходится прибегать как к методам термодинамики, так и к смежным дисциплинам, трактующим процесс с точки зрения диффузионной кинетики. В данной статье ставится задача выявить роль химических и физических превращений в ходе взаимодействия сплавов с водой.

Методы обобщения опытных данных по выделению водорода. Процесс выделения водорода представляет собой экзотермическую реакцию сплава с водой, которая протекает при определенной температуре с большой скоростью и без подвода тепла извне. В ходе реакции выделения водорода происходит превращение потенциальной энергии сплава (его химической энергии) в тепловую энергию продуктов реакции и воды, подаваемой на реакцию в количестве, превышающем стехиометрически необходимое.

Схематически взаимодействие твердого сплава с водой, выполняющей роль окислителя, можно разбить на несколько этапов. Первым из них является доставка окислителя к поверхности раздела фаз путем молекулярной и конвективной диффузии. Второй этап заключается в физической или химической адсорбции окислителя. Третий этап сводится к взаимодействию адсорбированного окислителя с поверхностными атомами сплава. Наконец, четвертый и пятый этапы представляют собой десорбцию продуктов реакции и редиффузию их в газовую фазу и в удаляемую пульпу [1].

Механизм реакции взаимодействия сплавов с водой отличается от закономерностей, рассматриваемых на основе диффузионной теории [2]. Прежде всего для реализации процесса получения водорода не требуется высоких температур. Как известно, алюминий и кремний мгновенно окисляются на воздухе при температуре окружающей среды [3]. Последнее обстоятельство свидетельствует о незначительных величинах энергии активации. Следовательно, процесс определяется, в основном, диффузией. Причиной тому является оксидная пленка, возникающая на поверхности сплава. Оксиды блокируют реакционную поверхность и препятствуют дальнейшему контакту сплавов с водой. Практически скорость реакции определяется условиями зародышеобразования и

отслоения. Для всесторонней оценки процесса необходимо, по-видимому, исследовать закономерности образования новой фазы и провести обработку данных как это принято для гетерогенных систем.

Основными факторами, определяющими образование зародышей, является вероятность захвата окислителя и возможность выделения газообразных продуктов. Выражение доли прореагировавшего вещества учитывает оба этих фактора и может быть решено только приближенно. Однако для случайного распределения Аврами решил уравнение, используя понятие о расширенном объеме прореагировавшего вещества [4]. Принятое допущение оказалось справедливым лишь для умеренных превращений. Мампель рассмотрел процесс образования ядер и их рост в системах, состоящих из шарообразных кристаллов [5]. Влияние предложенной модели на развитие теории процесса оказалось незначительным ввиду трудностей приготовления образцов, на которых возможна ее проверка. Праут и Томпкинс учли возможность образования зародышей в цепном процессе и предложили свое обобщающее уравнение [6]. Болдырев объяснил влияние примесей на кинетику процесса зародышеобразования, во-первых, деформационным действием решетки включения на пограничный слой основного вещества и, во-вторых, изменением характера электронных и ионных процессов, протекающих на границе раздела примесь – исходное вещество [7]. Янг разделил реакции разложения на два подкласса. В одном подклассе цепная разветвленная реакция проходит только на поверхности кристалла, при этом в точках разветвления образуются компактные объемные ядра, в другом - реакция проникает в объем исходного вещества при растрескивании кристалла. Дельмон развил подход, предложенный Мампелем, рассмотрел кинетические характеристики взаимодействия газа с твердым телом, включая последующую диффузию, дал для многих важных кинетических задач численные решения и привел табличные данные [8]. Барре сделал обзор работ по кинетике гетерогенных реакций, уделяя особое внимание физическому смыслу констант, входящих в математические зависимости [9].

Для реакции взаимодействия алюминия, активированного галлием, таллием, оловом и индием, с водой обработка экспериментальных данных проводилась по уравнениям рекомендованным Дельмоном и Барре [10, 11].

Розовский построил ряд теоретических моделей и привел численные решения применительно к конкретным реакциям [12]. Браун и др. рекомендовали интервалы применимости и корректности известных кинетических уравнений реакций взаимодействия и термического разложения [13]. Отмечено, что большинство зависимостей неудовлетворительно описывают конечную стадию процесса. Это связывают с одновременным влиянием таких факторов как размер частиц, фрагментация кристаллитов, хемосорбция газообразных продуктов на твердом остатке и т. д.

Ерофеев, анализируя вероятность взаимодействия молекул данной системы, получил уравнение [14]

$$\alpha = 1 - e^{-kt^n}, \quad (1)$$

где α - полнота реакции, которую определяют как отношение фактически выделившегося объема водорода к теоретически возможному

$$\alpha = V_{\tau} / V_T ,$$

V_{τ} - приведенный к н. у. объём H_2 , выделившийся в момент времени τ ;

V_T - теоретический объём водорода, рассчитанный по стехиометрии при взаимодействии определенного количества чистого алюминия с водой.

В экспериментальных условиях полноту реакции α_r можно рассчитать, как отношение давлений

$$\alpha_r = P_{\tau} / P_{max} ,$$

P_{τ} - давление водорода в момент времени τ ;

P_{max} - максимальное давление в конце реакции;

k - константа скорости реакции, зависящая от температуры и природы вещества;

n - постоянная, учитывающая на каких геометрических элементах поверхности развивается реакция.

Впервые уравнение Ерофеева было использовано для обобщения результатов экспериментов по взаимодействию алюминия с водой в работах [15, 16].

Затем ряд ведущих ученых высказал мнение, что уравнение (1) наиболее полно отражает формальную кинетику процесса [13, 17].

В дальнейшем обработку опытных данных реакций алюмокремниевых сплавов с водой проводили также по методике Ерофеева [1, 18, 19].

Вместе с тем, молекулярно-статистический подход, развитый Ерофеевым, не вскрывает истинного механизма и не затрагивает энергетических характеристик реакций, что затрудняет их сравнение между собой. Поэтому для режимов выделения водорода, когда слабо проявляется влияние нарастающего оксидного слоя ($\alpha = 0.3 \div 0.5$), опытные данные имеет смысл обобщить уравнением на основе термодинамики необратимых процессов.

Если тепловой эффект реакции обозначить через Q , то количество тепла, выделяющееся на единице реакционной поверхности за единицу времени, будет

$$q = Q \cdot W \quad (2)$$

где W - скорость выделения водорода, которая рассчитывается по формуле

$$W = \frac{V_{\tau}}{f_{y\phi} \cdot \Delta\tau} ,$$

где $f_{y\phi}$ - удельная площадь поверхности порошка сплава, m^2/kg (находится по методике, изложенной в работе [20]);

$\Delta\tau$ - время, за которое выделился данный объём газа, с.

Стационарный тепловой режим установится тогда, когда этот приход тепла станет равным количеству тепла, отводимому с единицы поверхности за единицу времени. Последнее можно представить как

$$q' = \alpha_T(t - t_0), \quad (3)$$

где α_T - коэффициент теплоотдачи; t - температура реакционной поверхности; t_0 - температура воды, омывающей сплав.

Макроскопическая кинетика не ограничивается представлением опытных данных лишь в виде уравнения (3). В неравновесной термодинамике

феноменологические соотношения записывают через термодинамические силы, в качестве которых выступает химическое сродство. В свою очередь, сродство является линейной функцией химических потенциалов [21]. В этом случае выражение для скорости реакции имеет вид

$$W = LA, \quad (4)$$

где A - химическое сродство

$$A = - \sum_{i,j} \nu_i \mu_i, \quad (i = 1, \dots, I), \quad (j = 1, \dots, J),$$

где i, j - фаза и компоненты в данной фазе, участвующие в реакции; ν_i - стехиометрическое число i -го вещества; μ_i - химический потенциал i -го компонента; $\sum_{i,j}$ - суммирование по всем фазам и веществам, участвующим в реакции;

$$\mu_i = (\delta G / \delta n_i)_{P, T, n_i (\neq n_j)},$$

где δG - изменение энергии Гиббса; δn_i - изменение числа молей; P, T, n_i - индексы, означающие постоянство давления, температуры и массовых концентраций компонентов, кроме концентрации i -го компонента.

Коэффициент пропорциональности L может быть представлен по аналогии с коэффициентом теплопередачи в виде

$$L = 1/(1/k + 1/\delta + 1/\beta), \quad (5)$$

где - в знаменателе находятся обратные величины константы скорости реакции k , коэффициента хемосорбции окислителя на поверхности сплава δ и коэффициента массоотдачи β .

Таким образом, в знаменателе складываются кинетическое, хемосорбционное и диффузионное сопротивления.

Недостатки диффузионной теории выделения водовода. Несогласованность двух основных теоретических направлений изучения гетерогенных реакций привела к ряду недостатков диффузионной теории, что следует из анализа энергетической стороны проблемы.

Поскольку выделение водорода относится к самопроизвольным процессам, то единственной его причиной является снижение термодинамического потенциала (или свободной энергии Гиббса).

Изменение потенциала равно разности между начальным и конечным состояниями. В качестве начального рассматривают состояние сравнительно большого количества реагента, а в качестве конечного - состояние соответствующего количества продукта. Для расчета этой величины применяют формулу

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где ΔG - изменение энергии Гиббса; ΔH - изменение энтальпии; ΔS - изменение энтропии; T - абсолютная температура.

При самопроизвольном процессе значения ΔG отрицательны. По грубой аналогии с механикой величину ΔG принимают за меру движущей силы реакции,

тогда как факторы, тормозящие возможный процесс, могут быть приравнены к трению [22].

Во время реакции происходит перестройка электронных оболочек атомов, участвующих в процессе. Таким образом, в качестве полезной работы фигурирует работа, связанная с переносом электрических зарядов, т.е. электрическая работа.

Так как свойство ΔG имеет размерность энергии, а не потенциала, то в дальнейшем было введено понятие химического потенциала, имеющего размерность энергии, деленной на массу, выраженную, как правило, в молях.

При стехиометрических количествах взаимодействующих компонентов в зоне реакции развиваются температуры более 2000°C [1] следовательно, вблизи реакционной поверхности вода испаряется.

При наличии встречного потока выделяющегося водорода возникает разность концентраций водяного пара на поверхности и вблизи нее. Диффузионная теория утверждает, что именно эта разность концентраций пара является движущей силой процесса. Но разность концентраций возникает вследствие взаимодействия поверхностных слоев алюминия с паром, а следствие не может быть главной причиной процесса.

Недостатки диффузионной теории становятся наиболее очевидными при рассмотрении механизма топохимических реакций. Так, особенностью выделения водорода является последовательное окисление очередных слоев алюминия на поверхности сплава. По сути дела, экспериментально измеряемая скорость выделения водорода представляет собой частное от деления скорости реакции атомов в поверхностном слое на число атомных слоев между поверхностью и центром частицы [23]. Диффузионная теория не в состоянии учесть происходит ли реакция в объеме кристаллической решетки или всего лишь на ее поверхности, хотя движущие силы процессов различны.

Между тем, выражение для скорости реакции, записанное через химические потенциалы, остается справедливым и для данного случая. При этом величину свободной энергии следует относить не к мольному значению, а к числу атомов в поверхностном слое сплава с учетом пористости сплава. Число Авогадро дает возможность пересчитать мольные значения энергии Гиббса на значения, отнесенные к одному атому или молекуле [24].

Также не составляет особого труда установить количество слоев в частице, поскольку кристаллическая решетка алюминия изучена достаточно подробно.

В общем случае запись выражения скорости через химические потенциалы требует учета сопротивлений, вызванных физическими и кинетическими факторами. К физическим относится диффузия воды к реакционной поверхности и адсорбция молекул воды сплавом, к кинетическим – активирование атомов сплава. Активация сплава происходит в режиме возникновения отдельных участков, на которых периодически образуются зародыши новой фазы. Этот механизм аналогичен тому, что имеет место при горении угля [25, 26].

Для раскрытия механизма этого явления, например, при фазовых превращениях, привлекают теорию флуктуаций (или в другом варианте «теорию возмущений») [27].

Как известно, в кристаллической решетке сплава с адсорбированными на них молекулами воды совершают линейные колебания и вращательные качания около некоторых равновесных ориентаций. Часть этих комплексов с повышением температуры приобретает энергию, превышающую энергию активации, что приводит к началу химических превращений. Того же результата можно достичь, воздействуя на кристаллическую решетку потоком электронов или электромагнитных излучений. Тем не менее, физическая природа данного процесса остается невыясненной. Возможно, положительного результата удастся достичь при распространении квантово-механической теории возмущений, развитой для газофазных реакций, на гетерогенные реакции и, в частности на вытеснение водорода из воды энергоаккумулирующими сплавами [28].

Последовательность расчета скорости выделения водовода. Для соблюдения баланса прихода и отвода тепла скорость выделения водорода следует определять в два этапа. На первом этапе необходимо оценить интенсивность теплоотдачи и по ней найти количество выделяемого водорода в единицу времени. На втором этапе та же скорость рассчитывается в зависимости от располагаемого химического потенциала с учетом кинетического, адсорбционного и диффузионного сопротивлений. Вторым этапом одновременно играет роль поверочной операции, объясняющей, в частности, почему с ростом температуры скорость реакции по достижении некоторого предела начинает снижаться. Дело в том, что по мере приближения системы к положению равновесия величина химического потенциала уменьшается, что и влечет за собой снижение интенсивности процесса.

Приступая к расчету интенсивности теплоотдачи, следует учитывать, что газогидродинамическую обстановку в подъемном канале или при обтекании реагирующих частиц сплава создают как продольные, так и поперечные потоки газов. При шестикратном избытке воды по отношению к стехиометрическому количеству температура внутри газогенератора высокого давления не превышает 250 - 290 °С, что обеспечивает слабое парообразование. Во время проведения процесса реакционная поверхность генерирует мощный поток водорода (так называемый стефановский поток), турбулизирующий пограничный слой.

Для оценки интенсивности теплоотдачи необходимо предварительно обосновать размеры циркуляционных ячеек, действующих вблизи реакционной поверхности. Выбор размеров определяется тем, что течение поперечного потока подчиняется законам термодинамики. Поток состоит из отдельных порций продуктов взаимодействия компонентов, периодически отделяющихся из очагов газообразования [25]. В таком случае объем газообразных зародышей, покидающих твердую поверхность, должен позволять разумное термодинамическое описание системы, в котором такие интенсивные переменные, как температура и давление, вполне определены в любой точке циркуляционного контура. Например, если образовалось 10^3 см^3 газа, то при нормальных условиях в нем содержится примерно $3 \cdot 10^{22}$ молекул. Выделим из этого объема порцию, возникшую в виде зародыша, объемом 10^{-8} см^3 . Объем отделившегося от поверхности зародыша относительно мал, но все же в нем содержится достаточное количество молекул, чтобы для его характеристики использовать понятия, имеющие статистический смысл, и

определять состояние системы с помощью макроскопических величин. Такой зародыш Лоренц назвал физически бесконечно малым объемом [21, 29].

В оптимальном варианте на твердой поверхности устанавливается ячеистая структура потоков наподобие пчелиных сот (конвекция Бенара [30]). Подъем пузырьков водорода происходит в центре каждой ячейки, а опускание воды по ее краям. При коллективном действии ячеек возможно объединение не менее десяти подъемных каналов в один. Цепочка отрывающихся от поверхности зародышей создает подъемный поток в отдельной ячейке.

Дальнейший порядок расчета достаточно прост. Вначале по известным формулам для конвективного теплообмена определяем коэффициент теплоотдачи α_1 , обусловленный продольным потоком.

Затем по справочным данным для выбранной реакции находим константу равновесия [31]. Далее, на основании закона действующих масс, используя значение константы и давление равновесия, оцениваем давление образующихся газов [21]. Зная давление водорода на поверхности сплава и давление водорода в продольном потоке, несложно вычислить скорость истечения газов в подъемном канале циркуляционного контура [32]. Имея скорость потоков в пограничном слое, по аналогии Рейнольдса определяем коэффициент теплоотдачи, обусловленный поперечным потоком.

По правилу аддитивности находим значение суммарного коэффициента теплоотдачи.

Давление газов по длине подъемного канала снижается на величину

$$\Delta P = P_1 - P_2,$$

где P_1 - давление, создаваемое газлифтом; P_2 - давление на выходе из канала.

В результате движения потенциальная энергия (ΔP) преобразуется в кинетическую энергию потока. Скорость, которую приобретают газы в продольном направлении, определяет величину коэффициента α_1 .

Точно так же снижение давления в поперечном направлении на величину $\Delta P' = P'_1 - P'_2$, создает радиальную циркуляцию потоков вблизи реакционной поверхности со скоростью, позволяющей оценить значение коэффициента α_2 .

Весовые значения перепадов давления имеют вид

$$Z_1 = \Delta P / (P_1 + P_2), \quad Z_2 = \Delta P' / (P'_1 + P'_2).$$

Отсюда приближенная величина суммарного коэффициента теплоотдачи в канале будет

$$\alpha_T = Z_1 \alpha_1 + Z_2 \alpha_2.$$

Если же коэффициент α относить только к продольному потоку, то за счет влияния поперечного потока изменяются степени критериев подобия. Так, безразмерный коэффициент теплоотдачи в трубах зависит от числа Рейнольдса в степени 0,8. Очевидно, что с увеличением давления и скорости течения газов степень числа Рейнольдса будет увеличиваться.

Следует заметить, что если в ходе процесса твердые оксиды или мелкие частицы сплава будут отслаиваться и попадать в поток, то возникнет ограничение со стороны скорости звука, поскольку за счет этого эффекта двухфазные потоки движутся медленнее однофазных [33].

Поверочный этап расчета скорости реакции по формулам (4) и (5) начинаем с определения химического потенциала. Для расчета этой величины достаточно умножить изменение свободной энергии ΔG , отнесенное к одному молю продуктов реакции, на отношение числа молекул N_j , находящихся в зародыше новой фазы к числу Авогадро N_A [34]

$$\Delta G_{\text{пов}} = \Delta G \cdot (N_j / N_A).$$

Далее рассчитываем значения химического сродства A и коэффициента пропорциональности L (формула 5). Но предварительно, имея значения энергии активации E , по формуле Аррениуса находим константу скорости реакции k , по справочным данным подбираем коэффициент хемосорбции δ и по формуле, отражающей аналогию между теплоотдачей и массоотдачей, оцениваем коэффициент массообмена β [35]

$$\beta = \alpha / (c_p \cdot \rho),$$

где α - коэффициент теплообмена между водой (паром) и поверхностью сплава, рассчитанный в первом этапе; c_p - теплоемкость воды при постоянном давлении; ρ - плотность воды.

Вычисление W можно считать удовлетворительным, если расхождение результатов расчета по первому и второму этапам не превышает 10 - 15%.

Следует особо обратить внимание на различные величины поверхности сплава, вводимые в расчеты первого и второго этапов. Поскольку тепло, выделяющееся в центрах газообразования, свободно распространяется в массе сплава за счет теплопроводности, то в расчеты первого этапа вводится вся начальная поверхность реагирующего сплава или суммарная поверхность омываемых частиц. Так как величина реакционной поверхности не совпадает с внешней поверхностью сплава, контактирующей с водой, то во втором случае приходится делать ряд допущений. Наблюдения показывают, что в стационарных условиях опускаемые каналы занимают примерно третью часть поверхности частиц, то есть реакционная поверхность, генерирующая водород равна $2/3$ поверхности частиц.

Выводы. В результате сравнения методов термодинамики необратимых процессов и диффузионной кинетики, используемых при расчете скорости выделения водорода при взаимодействии алюминиевых сплавов с водой, выявлено, что основной движущей силой реакции является химический потенциал. Химический потенциал достаточной величины позволяет преодолеть сопротивления реакции со стороны диффузии окислителя к поверхности раздела фаз, через слой оксидов, хемосорбции окислителя и активирования атомов сплава. Именно этим фактом объясняется самопроизвольное распространение реакции вглубь частиц сплава.

Стационарный процесс устанавливается тогда, когда приход тепла при проведении реакции равен количеству тепла, отводимому с единицы поверхности в единицу времени. Поэтому расчет следует проводить в два этапа: вначале определять количество тепла, отводимого от реакционной поверхности, а затем находить количество тепла, выделяющегося во время образования водорода. При расчете теплоотдачи необходимо учитывать как продольный, так и поперечный

потоки, в подъемном канале реактора.

В свою очередь, расчет скорости выделения водорода по второму этапу должен основываться на химическом потенциале, отнесенном к числу поверхностных атомов сплава. Допускаемое расхождение материального баланса не должно превышать 10 -15 %.

Список литературы: 1. Трошенькин Б. А. Циркуляционные и пленочные испарители и водородные реакторы [Текст] / Б. А. Трошенькин. - Киев: Наук. думка, 1985. - 174 с. 2. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д. А. Франк-Каменецкий. - М.: Наука, 1967. - 492 с. 3. Козин Л. Ф. Водородная энергетика и экология [Текст] / Л.Ф. Козин, С. В. Волков. - К.: Наук. думка, 2002. - 336 с. 4. Avrami M. Kinetics of Phase Change [Text] / M. Avrami // J.Chem.Phys. - 1939. - 7. - №11. - P. 1103-1112. 5. Mampel K. L. Zeitzumsatzformeln für heterogene Reaktionen an Phasengrenzen fester Körper [Text] / K.L Mampel // Z.Phys.Chem. - 1940. - 187. - 4. - P. 235-249. 6. Prout E. G. The thermal decomposition of potassium permanganate [Text] / E.G. Prout, F.C Tompkins // Trans.Faraday Soc. - 1944. - 40. - №274. - P. 488-498. 7. Болдырев В. В. Влияние дефектов в кристаллах на скорость термического разложения твердых веществ [Текст] / В. В. Болдырев. - Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963. - 246 с. 8. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций [Текст] / Б. Дельмон. - М.: Мир, 1972. - 556 с. 9. Барре П. Кинетика гетерогенных процессов [Текст] / П. Барре. - М.: Мир, 1976. - 400 с. 10. А. с. 1108773, МКН С22 С21/00. Сплав на основе алюминия для получения водорода [Текст] / Л. Ф. Козин, В. А. Сахаренко, Б. А. Трошенькин. - Оpubл. 1984, Бюл. изобрет. № 30. 11. Козин Л. Ф. Кинетика и механизм взаимодействия активированного алюминия с водой [Текст] / Л. Ф. Козин, В. А. Сахаренко, А. Н. Бударина // Укр. хим. ж-л. - Киев, 1984. - 50. - Вып. 2. - С. 161-169. 12. Розовский А. Я. Гетерогенные химические реакции [Текст] / А. Я. Розовский. - М.: Наука, 1980. - 324 с. 13. Браун М. Реакции твердых тел [Текст] / М. Браун, Д. Доллимор, А. Галвей. - М.: Мир, 1983. - 360 с. 14. Ерофеев Б. В. Обобщенное уравнение химической кинетики и его применение к реакциям с участием твердых веществ [Текст] / Б. В. Ерофеев // Докл. АН УССР, 1946. - 12. - №6. - С. 515-518. 15. Лепинь Л. К. О взаимодействии алюминия с водой [Текст] / Л. К. Лепинь, Л. Тетере, А. Шмидт // Докл. АН СССР, 1953. - 88. - №5. - С. 871-874. 16. Лепинь Л. К. О кинетике взаимодействия алюминия с водой [Текст] / Л. К. Лепинь // Докл. АН СССР, 1954. - 99. - № 1. - С. 117-120. 17. Бретишнайдер С. Общие основы химической технологии [Текст] / С. Бретишнайдер, В. Кавецкий, Я. Лейко, Р. Марциновский. - Л.: Химия, 1977. - 504 с. 18. Трошенькин Б. А. Теплообмен при выделении водорода в реакциях алюмокремниевых сплавов с водой [Текст] / Б. А. Трошенькин // Теплообмен в химически реагирующих системах: Докл. Минск. междунар. форума: Ин-т теплообмена АНБ, 1992. - 3. - С. 89-92. 19. Добрицкая Н. Ф. Метод обобщения опытных данных при выделении водорода в реакциях взаимодействия алюминиевых сплавов с водой [Текст] / Н. Ф. Добрицкая, Б. А. Трошенькин // Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Вісник НТУ «ХП». - 2014. - № 17 (1060). - С. 100-106. 20. Добрицкая Н. Ф. Метод измерения поверхности порошкообразных и гранулированных сплавов [Текст] / Н. Ф. Добрицкая, В. Б. Трошенькин, Н. Н. Зипунников // Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Вісник НТУ «ХП». - 2013. - № 16 (989). - С. 201-205. 21. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур [Текст] / И. Пригожин, Д. Конденуди // Пер. англ. Ю.А. Данилова и др. физ.-мат. наук В.В. Белого под ред. проф. д-ра хим. наук Е.П. Агеева. - М.: Мир, 2002. - 462 с. 22. Льюис Г. Н. Химическая термодинамика [Текст] / Г. Н. Льюис, М. Рендалл // Пер. с англ. А.Н. Лукицкого под ред. и с доп. проф. П.А. Ребиндера с доп., введенными О. Редлихом, переводчиком с немецкого издания 1927 года. - Л.: ОНТИ Химтеорет, 1936. - 532 с. 23. Эйринг Г. Основы химической кинетики [Текст] / Г. Эйринг, С. Г. Лин, С. М. Лин // Пер. с англ. Е.Л. Розенберга под ред. А.М. Бродского. - М.: Мир, 1983. - 528 с. 24. Хауффе К. Реакции в твердых телах и на их поверхности [Текст] / К. Хауффе // Пер. с нем. А.Б. Шектера. - М.: Изд. иностр. лит., 1962. - т. 1. - 416 с. 25. Мальцев В. М. Основные характеристики горения [Текст] /

В. М. Мальцев, М. И. Мальцев, Л. Я. Кашипов. - М.: Химия, 1977. - 320 с. **26.** Трошенкин Б. А. Объединение методов термодинамики необратимых процессов и диффузионной кинетики при расчете скорости горения угля [Текст] / Б. А. Трошенкин, С. В. Янко, В. Б. Трошенкин // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. Сб. науч. статей. - К.: Изд-во НППВК "Триакон". - 2013. - №2(13). - С. 48-55. **27.** Трошенкин Б. А. Зародышеобразование при кипении и конденсации [Текст] / Б. А. Трошенкин, В. Б. Трошенкин // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. Сб. науч. статей. - К.: Изд-во НППВК «Триакон». - 2011. - № 2(7). - С. 242-245. **28.** Бенсон С. Термохимическая кинетика [Текст] / С. Бенсон // Пер. с англ. канд. техн. наук Ю.П. Ямпольского. Под ред. чл.-корр. АН СССР Н.С. Ениколопьяна. - М.: Мир, 1971. - 308 с. **29.** Агеев Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах [Текст] / Е. П. Агеев. - М.: МЦНМО, 2005. - 160 с. **30.** Альбом течений жидкости и газа [Текст] / Сост. и авторский текст М. Ван-Дайка, пер. с англ. Л. В. Соколовской под ред. Г. И. Баренблатта и В. П. Шидловского. - М.: Мир, 1986. - 182 с. **31.** Козин Л. Ф. Современная энергетика и экология: проблемы и перспективы [Текст] / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. - К.: Наук. думка, 2006. - 774 с. **32.** Ястржембский А. С. Техническая термодинамика [Текст] / А. С. Ястржембский. - М.; - Л.: Госэнергоиздат, 1960. - 495 с. **33.** Соу С. Гидродинамика многофазных потоков [Текст] / С. Соу. - М.: Мир, 1971. - 538 с. **34.** Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций [Текст] / Б. Дельмон // Пер. с фр. канд. хим. наук Н. М. Бажина, канд. хим. наук Э. Г. Малыгина, В. М. Бердникова под ред. д-ра хим. наук В.В.Болдырева. - М.: Мир, 1972. - 556 с. **35.** Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А. Г. Касаткин. - М.: Химия, 1971. - 789 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Troshenkin, B. A. (1984). Circulation and Film Evaporators and Hydrogen Reactors. Kyiv: Naukova Dumka Publishers, 174. **2.** Frank-Kamenetsky D.A. (1967). Diffusion and Heat Transfer in Chemical Kinetics. Moscow: Nauka, 492. **3.** Kozin L.F., Volkov S.V. (2002). Hydrogen Energy and Ecology. Kyiv: Naukova Dumka Publishers, 336. **4.** Avrami M. (1939). Kinetics of Phase Change//J.Chem.Phys. - 7. - №11. 1103-1112. **5.** Mampel K.L. (1940). Zeitemsatzformeln für heterogene Reaktionen an Phasengrenzen fester körper//Z.Phys.Chem. - 187. - 4. 235-249. **6.** Prout E.G., Tompkins F.C. (1944). The thermal decomposition of potassium permanganate//Trans.Faraday Soc. - 40. - № 274. 488-498. **7.** Boldyrev V.V. (1963). Influence of Crystal Defects on the Rate of Thermal Decomposition of Solids. Tomsk: Tomsk Inst. Publishers, 246. **8.** Delmom B. (1972). Kinetics of Heterogeneous Reactions. Moscow: Mir Publishers, 556. **9.** Barre P. (1976). Kinetics of Heterogeneous Processes. Moscow: Mir Publishers, 400. **10.** A. s. 1108773, MKN S22 S21/00. (1984). Aluminum-based Alloys for Generating Of Hydrogen/L.F. Kozin, V.A. Sakhareno, B.A. Troshenkin. Bulletin of the invention. № 30. **11.** Kozin L.F., Sakhareno V.A., Budarina A.N. (1984). Kinetics and Mechanism of the Interaction of Activated Aluminum with Water. Ukrainian Magazine of Chemical. Kiev, 50. Series 2, 161-169. **12.** Rozovskiy A.Ya. (1980). Heterogeneous Chemical Reaction. Moscow: Nauka, 324. **13.** Braun M., Dollimore D., Galvey A. (1983). Reactions of solids. Moscow: Mir Publishers, 360. **14.** Erofeev, B. V. (1946). Generalised Equation of Chemical Kinetics and its Application to Reactions With The Participation of Solids. Dokladi of The Academy of Sciences Of USSR, 12, № 6, 515-518. **15.** Lepin, L. K., Tetere, A., Shmidt, A. (1953). On Interaction of Aluminum with Water. Dokladi of The Academy of Sciences of SSSR, 88, № 5, 871-874. **16.** Lepin, L. K. (1954). About Kinetics of the Interaction of Aluminum with Water. Dokladi of The Academy of Sciences of SSSR, 99, № 1, 117-120. **17.** Bretshnayder S., Kavetskiy V., Leyko Ya., Martsinovskiy R. (1977). General Foundations of Chemical Engineering. - Leningrad: Chemistry Publishers, 504. **18.** Troshenkin B.A. (1992). Heat Transfer of Hydrogen Evolution in Reactions of Silico-Aluminum Alloys With Water//Heat and mass transfer in chemically reacting systems: Dokladi of the Minsk International Forum: Institute of Heat and Mass Transfer ANBelarus, 3, 89-92. **19.** Dobritskaya N.F., Troshenkin B.A. (2014). The Method of Generalization of Experimental Data for Hydrogen Evolution from the Interaction Between Aluminum Alloys with Water. Scientific Papers. Series: New solutions in modern technologies. Journal of NTU "KPI", № 17 (1060), 100-106. **20.** Dobritskaya N.F., Troshenkin V.B., Zipunnikov N.N. (2013). The Method of Measurements of Surfaces of Powdered and Granular Alloys. Scientific

Papers. Series: New solutions in modern technologies. Journal of NTU "KPI", № 16 (989), 201-205.

21. Kondepudi, D. and Prigogine, I. (1999), *Modern Thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures*, John Wiley & Sons, Inc., Chichester - New York - Weinheim - Brisbane - Toronto - Singapore.

22. Lewis, G.N. and Randall, M. (1923), *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill Book Co., Inc.

23. Eyring H., Lin S.H., Lin S.M. (1980). *Basic Chemical Kinetics*, New York: Wiley.

24. Hauffe, Von K. (1955), *Reaktionen in und an festen Stoffen. Anorganische und allgemeine Chemie in Einzeldarstellungen*, Bd. II. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg.

25. Maltsev V.M. (1977). *The Main Characteristics of Combustion*. Moscow: Khimiya, 320.

26. Troshenkin B.A., Yanko S.V., Troshenkin V.B. (2013). Combining the Methods of Irreversible Thermodynamics and Diffusion Kinetics in the Calculation of the Rate of Combustion of Coal. *Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies. Collection of research papers.* - Kyiv: Publishing House of Scientific Production Innovation Corporation «Triacon», No. 2(13). 242-245.

27. Troshenkin B.A., Troshenkin V.B. (2011). Nucleating During Boiling and Condensation. *Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies. Collection of research papers.* - Kyiv: Publishing House of Scientific Production Innovation Corporation «Triacon», No. 2(7). 242-245.

28. Benson, S.W. (1968) *Thermochemical Kinetics. Methods for the Estimation of Thermochemical Data and Rate Parameters*. John Wiley & Sons, Inc., New York - London - Sydney.

29. Ageyev E.P. (2005). *Nonequilibrium Thermodynamics in Questions and Answers*. Moscow: Moscow Center for Continuous Mathematical Education, 160.

30. Van Dyke, M. (1982), *An Album of Fluid Motion*. The Parabolic Press, Stanford, California.

31. Kozin L.F., Volkov S. V. (2006). *Modern Energy and Ecology: Problems and Prospects*. Kyiv: Naukova Dumka Publishers, 774.

32. Yastrzhembsky A.S. (1960). *Technical Thermodynamics*. Moscow; - Leningrad: Gosenergoizdat, 496.

33. Sou S. (1971). *Hydrodynamics multiphase flow*. Moscow: Mir Publishers, 538.

34. Delmon, B. (1969). *Introduction a la Cinétique Hétérogène*. Editions technip, Paris.

35. Kasatkin A.G. (1971). *Basic Processes and Devices of Chemical Technologies*. Moscow: Khimiya, 789.

Надійшла (received) 03.10.2014

УДК 541.127: 542.943

А. С. БУШУЄВ, канд. техн. наук, доц., Інститут хімічних технологій
Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Рубіжне;
О. О. КОЛБАСЮК, аспірант, Інститут хімічних технологій
Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Рубіжне;
Г. А. ГАЛСТЯН, д-р хім. наук, проф., Інститут хімічних технологій
Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Рубіжне

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ ОЗОНУ З МЕТИЛФЕНІЛКАРБІНОЛОМ В ОЦТОВІЙ КИСЛОТІ

Досліджено реакцію озону з метилфенілкарбінолом – напівпродуктом реакції окиснення етилбензену. Показано, що при температурі 15°C озон реагує переважно по бічному ланцюгу з утворенням ацетофенону (95%) і лише ~5% метилфенілкарбінолу руйнується за ароматичним кільцем. З підвищенням температури кількість ацетофенону зменшується, переважно за рахунок його подальшого окиснення до бензойної кислоти. Вивчена макрокінетика процесу, запропонована хімічна схема перетворень, яка задовільно пояснює одержані експериментальні дані.

Ключові слова: озон, окиснення, метилфенілкарбінол, ацетофенон, бензойна кислота, оцтова кислота, константа швидкості.

© А. С. БУШУЄВ, О. О. КОЛБАСЮК, Г. А. ГАЛСТЯН, 2014

Вступ. Процеси окиснення алкілбензенів та їх оксигенвмісних похідних є галуззю хімічної промисловості, що швидко розвивається і безперервно удосконалюється. З погляду на це цілком закономірним є постійно зростаючий інтерес дослідників щодо вивчення реакцій окиснення алкілбензенів у рідкій фазі.

В наш час значна частина оксигенвмісних похідних алкілбензенів (ОПА) – ароматичні спирти, кетони та карбонові кислоти, синтезуються прямим окисненням вихідних речовин киснем повітря. Втім, інколи від використання кисню відмовляються через його низький окисно-відновний потенціал і, як наслідок, через жорсткі умови ведення окиснення та відносно низку вибірковість процесу. В цих випадках досягають мети методами хімічного синтезу або використовують дорогі та дефіцитні мінеральні окисники: перманганати, дихромати тощо. Проте з практики витікає, що більшість хімічних процесів одержання ОПА не мають майбутнього за причини багатостадійності, технологічної складності та жорстких умов переробки реагентів. Використання мінеральних окисників призводить до утворення мінералізованих стічних вод та твердих високотоксичних відходів.

Дослідженнями останніх років [1, 2] показано, що одним із варіантів рішення існуючих проблем є використання як окисника озону. Екологічна чистота озону, його високий окисно-відновний потенціал (2,07 В) сприяли поширенню наукових досліджень, спрямованих на створення нових, більш досконалих окиснювальних технологій одержання ОПА, але в першу чергу в ряду толуену та його заміщених [2]. Реакція озону з ЕБ і його заміщеними до сьогоднішнього часу майже не вивчалась, і дана робота є одним з перших кроків на шляху системного дослідження озонолітичних перетворень у цьому напрямку.

Метою роботи є дослідження кінетичних особливостей реакції окиснення метилфенілкарбінолу (МФК) – продукту озонолітичних перетворень ЕБ в оцтовій кислоті озоноповітряною сумішшю при температурі 15 – 40°C та атмосферному тиску для розуміння його ролі в загальному процесі окиснення ЕБ.

Методика експериментів окиснення МФК озоноповітряною сумішшю в середовищі оцтової кислоти. Концентрацію МФК і ацетофенону (АФ) в розчині аналізували методом газорідинної хроматографії на хроматографі з полум'яно – іонізаційним детектором на колонці довжиною 1 метр з діаметром 3,5 мм заповненою носієм «Інертон Супер» з нанесеною на нього нерухомою фазою FFAP у кількості 5% від маси носія за умов: температура термостату за програмою 115 – 175 °C за 10 хв; швидкість газу-носія (азот) – 1,8; водню – 1,8; повітря 18 л/год. В якості внутрішнього стандарту використовували 4–нітрохлорбензен.

Концентрацію бензойної кислоти аналізували методом нейтралізації, а пероксидних продуктів - йодометричним методом. Для цього 1 мл реакційної маси додавали до 10 мл 5% розчину калію йодиду, отриману масу підкислювали 2,5 мл 0,1М розчином сульфатної кислоти. Отриманий розчин витримували 1,0 і 24,0 годин за кімнатної температури, після чого титрували 0,05 М розчином тіосульфату натрію. Концентрацію пероксидів розраховували за формулою:

$$[Oz] = \frac{V_T \cdot M_T}{n \cdot V_P} \quad (1)$$

де $[O_2]$ – концентрація пероксидів, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; V_T – об'єм $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, витрачений на титрування, мл; V_p – об'єм реакційної маси, мл; M_T – молярна концентрація $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; n – кількість переміщених електронів.

Концентрацію озону в газовій фазі на вході і виході з реактора визначали йодометричним та спектрофотометричним методами [3]. Йодометричний контроль озону використовувався в оціночних дослідах з використанням формули:

$$[O_3]_T = \frac{V_T}{2V_T} \cdot M_T \cdot 10^{-3}, \text{моль} \cdot \text{л}^{-1}; \quad (2)$$

де V_T – об'єм $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, витрачений на титрування, мл;

V_T – витрата озонотитрувальної суміші, $\text{л} \cdot \text{хв}^{-1}$;

M_T – молярна концентрація $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$;

За спектрофотометричним методом концентрацію озону визначали за калібрувальним графіком, побудованим за формулою:

$$[O_3] = D / \xi \cdot L, \quad (3)$$

в якій $[O_3]$ – концентрація озону в газі, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$;

D – оптична густина озонотитрувальної суміші;

ξ – коефіцієнт екстинції, що дорівнює $3040 \text{ см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ при $\lambda = 254 \text{ нм}$ [4];

L – довжина кювети, $0,10 \pm 0,01 \text{ м}$.

Кількість поглиненого в реакції озону визначалось за озонограмами за формулою:

$$\Delta O_3 = \omega \left([O_3]_o \cdot \tau - \int_0^{\tau} [O_3]_o \delta \tau \right), \text{моль} \quad (4)$$

з використанням параболічної формули Сімпсона для оцінки площі криволінійних фігур (враховувалась площа обмежена кривими, що характеризують зміну у часі $[O_3]_o$ та $[O_3]_k$) [5].

Стехіометричний коефіцієнт за озоном знаходили за формулою:

$$n = \frac{\Delta O_3}{\Delta ArH} \quad (5)$$

де ΔArH – витрата реагенту, що відповідає кількості поглиненого озону (ΔO_3); на практиці ΔArH зазвичай дорівнює наважці етилбензену в молях.

Визначення ефективних констант швидкості реакції озону з МФК і продуктами його окиснення проводили в термостатованому реакторі типу «каталітична качка» об'ємом $0,05 \text{ л}$ по зміні концентрації озону в газовій фазі, на виході з реактора. Для безперервного контролю концентрації озону в озонотитрувальній суміші газ пропускали крізь проточну кювету спектрофотометра [3], при цьому на діаграмній стрічці фіксувались оптична густина, відповідна певній концентрації озону. Поточну концентрацію озону розраховували за формулою (3).

В насичений озоном розчинник вводився певний об'єм субстрату. Змішування рідкої і газової фази відбувалось за рахунок коливання реактора зі

швидкістю 9 коливань за секунду, що дозволило вести реакцію в кінетичній області (рис. 1).

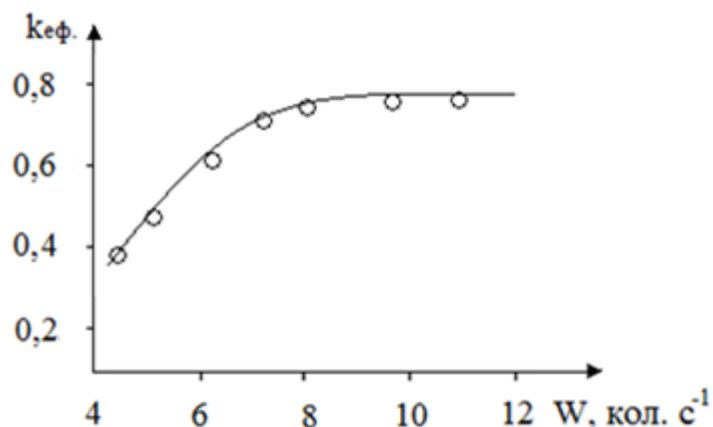


Рис. 1 – Залежність величини ефективної константи швидкості окиснення МФК озonom ($k_{\text{эф}}$) від кількості коливань «каталітичної качки» $[\text{ArCH}_2\text{CH}_3]_0 = 0,4$; $[\text{O}_3]_0 = 8,5 \cdot 10^{-5}$ моль·л⁻¹; $V_p = 0,02$ л; $t = 15$ °С

На рис. 2 приведена крива поглинання озону у часі (озонограма), за якою розраховувалися ефективні константи швидкості ($k_{\text{эф}}$ – враховує сумарну реакцію озону за різними напрямками).

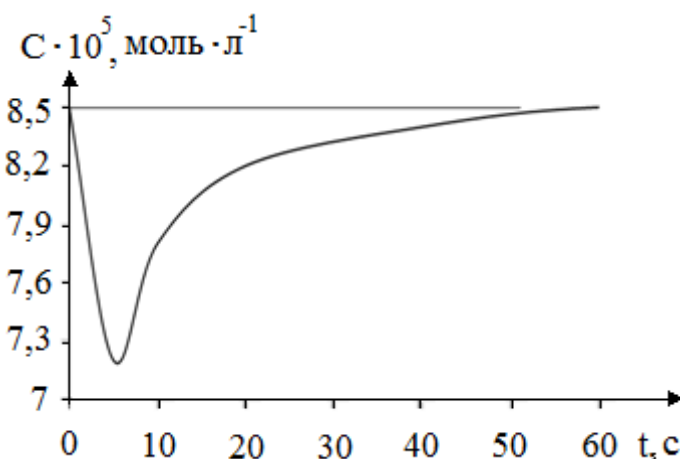


Рис. 2 – Озонограма окиснення МФК озonom в оцтовій кислоті при температурі 15 °С; C – концентрація озону, моль·л⁻¹; $[\text{O}_3]_0 = 8,5 \cdot 10^{-5}$ моль·л⁻¹

$$k_{\text{эф.}} = \frac{\omega([\text{O}_3]_0 + [\text{O}_3]_к)}{\alpha[\text{O}_3]_к^n \cdot [\text{ArH}]_0^m} \quad (6)$$

де ω – питома швидкість газового потоку, с⁻¹; α – коефіцієнт Генрі; $[\text{ArH}]_0$ – початкова концентрація субстрату, моль · л⁻¹; $[\text{O}_3]_0$, $[\text{O}_3]_к$ – концентрація озону у газовій фазі до і після реактора, моль · л⁻¹; n і m – порядки реакції по реагентах.

Обговорення результатів процесу рідкофазного окиснення МФК озонотопітряною сумішшю. В роботі [6] показано, що в реакції окиснення ЕБ озонотопітряною сумішшю в оцтовій кислоті при температурі 15°С МФК є проміжним продуктом, який далі перетворюється в АФ. Звідси витікає, що вивчення кінетики і механізму окиснення МФК озонотопітряною сумішшю в

умовах окиснення ЕБ дозволить зрозуміти його роль в загальному процесі окиснення ЕБ.

В розчині крижаної оцтової кислоти окиснення МФК озонотвільною сумішшю при температурі 15°C закінчується за 70 хвилин (рис. 3).

З рисунку видно, що за кінетичних умов реакція окиснення розвивається без індукційного періоду з початковою швидкістю, яка в п'ять раз перевищує швидкість окиснення ЕБ (відповідно $4,4 \cdot 10^{-4}$ та $8,3 \cdot 10^{-5}$ моль·(л·с)⁻¹ [6]) така швидкість окиснення є цілком зрозумілою, оскільки гідроксильна група послаблює сусідній зв'язок С – Н (в метані $Q_{C-H} = 423,2$; в метанолі – 385,5; в етані – 406,7; в етанолі – 368,7 кДж·моль⁻¹ [7], тобто С-Н – зв'язок у спирті є на 38 кДж·моль⁻¹ слабшим, ніж у відповідного вуглеводню) в наслідок чого, при окисненні озonom, розривається саме цей зв'язок, і утворюється радикал $Ar\dot{C}(OH)CH_3$:

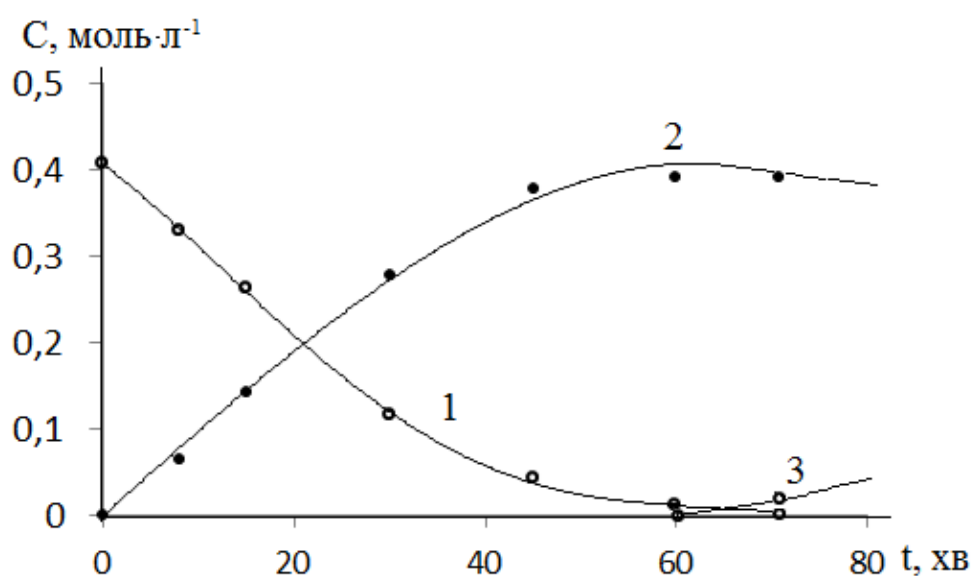
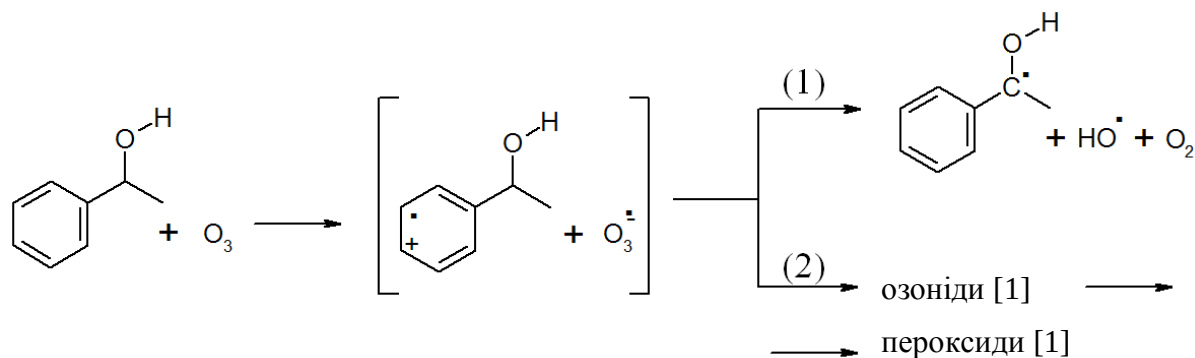


Рис. 3 – Кінетика окиснення МФК озonom в оцтовій кислоті; зміна концентрації МФК (1), АФ (2), бензойної кислоти (3). $t = 15^\circ C$; $[ArCH(OH)CH_3]_0 = 0,4$; $[O_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; $V_p = 0,01$ л; $\omega = 30$ л·год⁻¹



В дослідних умовах основним продуктом окиснення МФК є АФ (рис. 3, кр.2). Він утворюється з виходом 95 % і лише 5 % МФК руйнується за ароматичним кільцем (напряв 2)

АФ є досить стійкою до окиснення сполукою, його константа швидкості в реакції з озоном при температурі 15°C є майже на порядок нижчою за константу швидкості реакції ЕБ з озоном і тому він починає реагувати з озоном лише після вичерпного окиснення етилбензену; основним продуктом його перетворення є бензойна кислота (рис. 3. кр. 3).

При температурі 15°C швидкість реакції окиснення МФК має перший порядок по реагентах (рис.4)

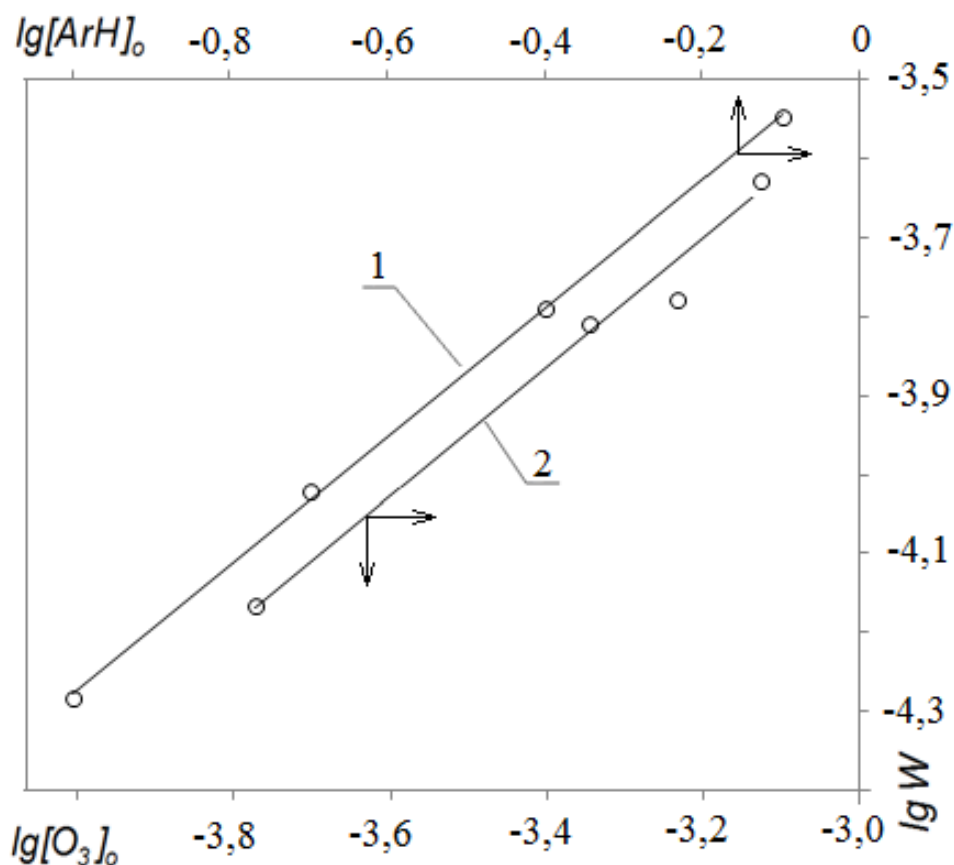


Рис. 4 – Залежність швидкості окиснення МФК від концентрації субстрату (1) і озону (2) при температурі 15 °C

Таблиця 1 Вплив концентрації озону в газовій фазі на швидкість окиснення МФК і вихід АФ в льодяній оцтовій кислоті.

$[ArCH(OH)CH_3]_0 = 0,4$ моль/л; $V_p = 0,01$ л; колонка; $\omega = 30$ л/год; $t = 15^\circ C$.

$[O_3] \cdot 10^4, \text{ л} \cdot \text{ моль}^{-1}$	Швидкість окиснення МФК, $10^4, \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$	Вихід АФ, %
1,5	1,0	94,0
4,0	1,3	94,5
5,2	1,7	95,0
6,5	2,3	97,0

Таблиця 2 Вплив температури на швидкість окиснення МФК та на вихід АФ в льодяній оцтовій кислоті

$[\text{ArCH}(\text{OH})\text{CH}_3]_0 = 0,4$ моль/л; $V_p = 0,01$ л; колонка; $\omega = 30$ л/год; $t = 15$ °С.

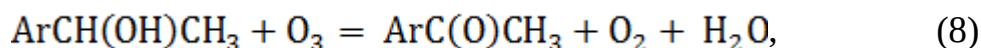
Температура, °С	Швидкість окиснення МФК, 10^4 , моль · (л · с) ⁻¹	Вихід АФ, %
15	1,7	95,0
20	2,1	94,2
30	3,2	93,2
40	4,2	91,0

$$r = k_{\text{еф}}[\text{ArCH}(\text{OH})\text{CH}_3] \cdot [\text{O}_3], \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}, \quad (7)$$

де r – швидкість реакції, моль · (л · с)⁻¹;

$k_{\text{еф}}$ – ефективна константа швидкості, яка враховує всі напрямки окиснення, л · (моль · с)⁻¹;

звідси сумарна реакція має вигляд:



що цілком підтверджується витратами озону, які складають 1,2 моль озону на моль прореагованого МФК (рис. 5)

Спеціальними дослідженнями було показано, що в умовах дослідів МФК молекулярним киснем окиснюється дуже повільно: після 10 годин пропускання повітря крізь вихідний розчин продукти окиснення спирту не ідентифікуються. Введення в систему озону (озоноповітряна суміш) призводить до високошвидкісного окиснення МФК (рис. 3). Проте варіювання концентрацією озону в озоноповітряній суміші майже не впливає на швидкість окиснення за бічним ланцюгом, але підвищення його концентрації в газі, у разі прискорює реакцію (табл.1). Характерно, що за умов окиснення озonoпоповітряною сумішшю концентрація кисню в газі практично не впливає на характер протікання реакції, що свідчить про те, що він не бере участі в ініційованій реакції окиснення за боковим ланцюгом.

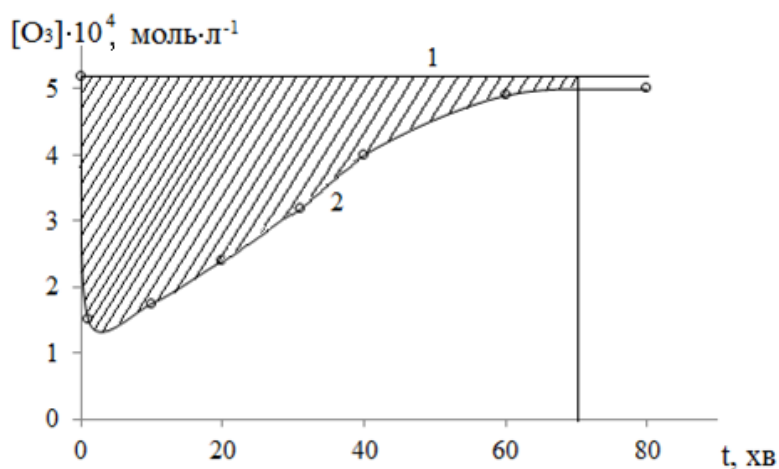
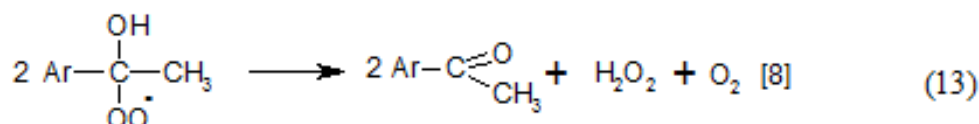
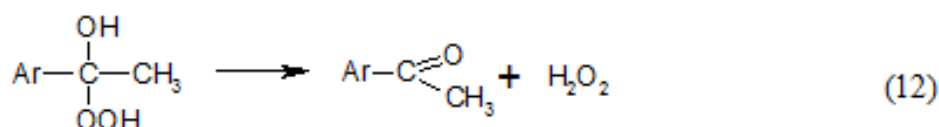
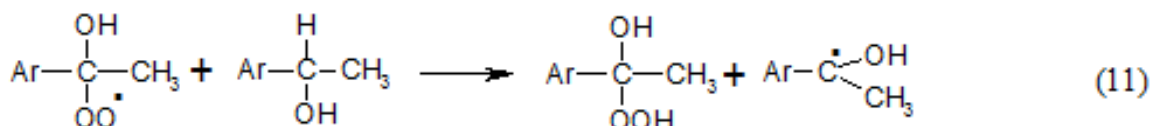
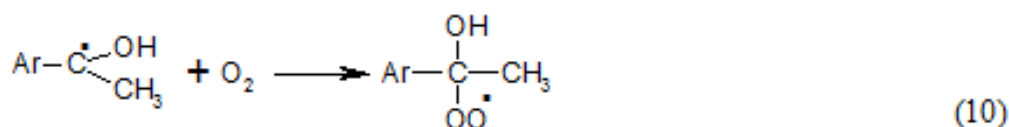
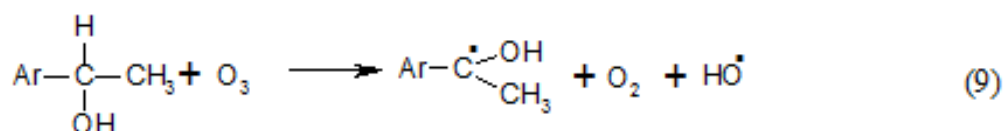


Рис. 5 – Кінетична крива витрати озону при взаємодії з МФК.

Концентрація озону на вході в колонку (1) і на виході з неї (2). $t = 15$ °С;

$[\text{ArCH}(\text{OH})\text{CH}_3]_0 = 0,4$; $[\text{O}_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ моль · л⁻¹; $V_p = 0,01$ л; $\omega = 30$ л · год⁻¹

За отриманими даними була розглянута схема окиснення МФК:



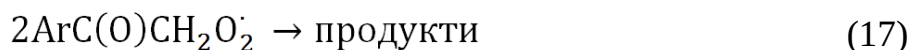
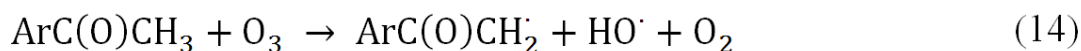
За схемою ініціатором окиснення МФК за бічним ланцюгом є молекула озону (р.9). Утворений по реакції (9) радикал за умов коли концентрація молекулярного кисню є на порядок вищою за концентрацію озону, перетворюється у пероксидний радикал (р.10), який далі рекомбінує по реакції (13) з утворенням АФ. Наближені розрахунки підтверджують такі припущення, оскільки показують, що при температурі 15 °С швидкість реакції ініціювання окиснення за бічним ланцюгом (р.9) перевищує швидкість реакції продовження ланцюгу (р.11). Так при $[\text{ArCH}(\text{OH})\text{CH}_3]_0 = 0,4$; $[\text{O}_3] = 4 \cdot 10^{-4}$ моль · л⁻¹, $k_9 = 0,8$; $k_{11} = 0,2$ [8], $k_{13} = 0,25 \cdot 10^7$ л · (моль · с)⁻¹ [8] в умовах стаціонарності концентрації радикалів ($r_9 = r_{13}$)

$$\begin{aligned} [\text{ArC}(\text{OH})\text{OO}^{\bullet}\text{CH}_3] &= [(k_9[\text{ArCH}(\text{OH})\text{CH}_3]_0[\text{O}_3]_0)k_{13}^{-1}]^{\frac{1}{2}} = \\ &= [(0,8 \cdot 0,4 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4})(0,25 \cdot 10^7)^{-1}]^{\frac{1}{2}} \cong 7 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \\ \text{а } r_{11} &\cong 0,2 \cdot 7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1} \\ r_9 &\cong 0,8 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4 = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}, \text{ тобто} \\ \nu &= r_{11} : r_9 = 5,6 \cdot 10^{-6} : 1,7 \cdot 10^{-4} = 0,03 \end{aligned}$$

Загальна схема процесу майже не змінюється з підвищенням температури до 40°C. Втім температура значною мірою впливає на швидкість окиснення спирту і меншою мірою – на селективність окиснення за бічним ланцюгом. Так підвищення температури з 15 до 40°C прискорює швидкість реакції вдвічі, при цьому селективність окиснення за АФ знижується з 95 до 91 % (табл. 2). Подібний вплив температури не суперечить запропонованій схемі процесу (р. 9,10,13), а зниження селективності за АФ є результатом подальшого окиснення кетону до бензойної кислоти (рис. 3, кр. 3). Бензойна кислота в умовах дослідів є

досить стабільною речовиною ($k_{\text{еф}}(\text{ArCOOH} + \text{O}_3) = 10^{-3} \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$), і тому є кінцевим продуктом в циклі вивчених перетворень.

Окиснення АФ в умовах дослідів проходить як не ланцюгова радикальна реакція. Це впливає з перших порядків по реагентах, та з того, що пероксидні радикали, які можуть утворюватися, за реакціями:



набагато швидше реагують один з одним (р. 17) ніж з АФ через більш високу швидкість ініціювання. При $k_{14} = 0,04 \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$; $[\text{АФ}]_0 = 0,4$; $[\text{O}_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$; $r_{14} = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$.

Для обчислення r_{16} та r_{17} відсутні дані по k_{16} та k_{17} , але відомо що k_{17} для багатьох кетонів є дуже близьким [9], що дає можливість прийняти, для розрахунків з достатньою імовірністю $k_{17} \approx 10^{-6} \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$.

За літературними даними k_{15} для багатьох кетонів при температурі $\approx 40^\circ\text{C}$ коливається в межах одиниці [9].

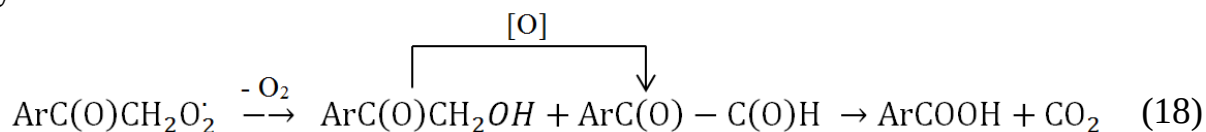
За методом стаціонарності концентрацій Беденштейна – Семенова [10].

$$\text{ArC(O)CH}_2\text{O}_2 = (r_{14}/k_{17})^{0,5} = ((0,8 \cdot 10^{-5})/10^{-6})^{0,5} = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1};$$

$$\text{Тоді } r_{15} = 1 \cdot 2,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1},$$

$$\text{тобто } r_{16} : r_{11} = 2,8 \cdot 10^{-6} : 8 \cdot 10^{-6} = 0,35$$

Рекомбінація пероксидних радикалів АФ, як і для багатьох кетонів [9], може відбуватися за схемою:



з утворенням бензойної кислоти.

Висновки. Досліджено реакцію озону з МФК. Показано, що при 15°C озон реагує переважно по бічному ланцюгу з утворенням АФ, вихід котрого сягає 97 %. Підвищення температури до 40°C зменшує вихід АФ до 91% в наслідок його подальшого окиснення до БК. Встановлені ефективні константи швидкості взаємодії озону з МФК та продуктами його подальшого перетворення. Запропонована хімічна схема перетворень, котра пояснює отримані експериментальні дані.

Список літератури: 1. Галстян, Г. А. Озон и его реакции с ароматическими соединениями в жидкой фазе [Текст] / Г. А. Галстян, Н. Ф. Тюпало, С. Д. Разумовский – Луганск: ВУНУ, 2004. - 272 с. 2.

Галстян, Г.А. Каталіз реакції рідкофазного окиснення ароматичних сполук озonom. *Монографія* [Текст] / Галстян Г.А., Тюпало М.Ф., Галстян А.Г.. – Луганськ: вид-во СНУ ім. в. Даля, 2007. – 415 с.

3. Разумовський, С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями [Текст] / С. Д. Разумовський, Г. Е. Заиков – М.: Наука. 1974. – 322 с.

4. Калверт, Дж. Фотохимия [Текст] / Дж. Калверт, Дж. Питсс – М.: Мир, 1968. – 672с.

5. Барышников, С.В. Вычислительная математика в химии и химической технологии [Текст] / С.В. Барышников, Р.Б. Медведев, Ю.Я. Фиалков. – Киев.: Вища школа, 1986. – 387с.

6. Галстян, А. Г. Окиснення етилбензену озonom в оцтовій кислоті [Текст] / А. Г. Галстян, О. О. Колбасюк, Г. А. Галстян, А. С. Бушуєв // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 66, №6/6. – С. 8 – 11.

7. Веденеев, В. И. Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. Справочник. [Текст] / В. И. Веденеев, Л. В. Гурвич, В. Н. Кондратьев, и др. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 215 с.

8. Эмануэль, Н. М. Окисление этилбензола (модельная реакция) [Текст] / Н. М. Эмануэль, Д. Гал – М.: Наука. 1984. - 376 с.

9. Денисов, Е. Т. Механизм жидкофазного окисления кислород-содержащих соединений [Текст] / Е. Т. Денисов, Н. И. Мицкевич, В. Е. Агабеков – Минск: Наука и техника, 1975. – 334 с.

10. Эмануэль, Н. М. Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе [Текст] / Н. М. Эмануэль, Е. Т. Денисов, З. К. Майзус – М.: Наука, 1965. – 365с.

Bibliography (transliterated): 1. Galstyan, G. A., Tyupalo, N. F., Razumovskiy, S. D. (2004). Ozon i ego reakcii s aromaticheskimi soedineniyami v zhidkoy faze. Lugansk, VUNU, 272. 2. Galstyan, S. G., Tyupalo, N. F., Galstyan, A. G. (2007). Kataliz reakcii ridkofaznogo okisnennya aromaticnyh spoluk ozonom. Monographiya. Lugansk, SNU im. V. Dalya, 415. 3. Razumovs'kiy, S. D., Zaikov, G. E. (1974). Ozon i ego reakcii s organicheskimi soedineniyami. M., Nauka, 322. 4. Kalvert, Dzh. Pitss, Dzh. (1968). Fotohimiya. M., Mir, 672. 5. Barishnikov, S. V., Medvedev, R. B., Fialkov, Yu. A. (1987). Vichislitel'naya matematika v himii i himicheskoy tehnologii. Kiev, Vishha shkola, 387. 6. Galstyan, A. G., Kolbasiuk, O. O., Galstyan, G. A., Bushuev, A. S. (2013). Okisnennya etilbenzenu ozonom v octoviy kisloti Shidno-Evropeys'kiy zhurnal peredovih tehnologiy. Vol. 66, №6/6, 8 – 11. 7. Vedeneev, V. I., Gurvich, L. V., Kondrat'ev, V. N., i dr. (1962). Energiya razryva himicheskikh svyazey. Potencialy ionizatsii i srodstvo k elektronu. Spravochnik. M., AN SSSR, 215. 8. Emanuyel', N. M., Gal, D. (1984). Okislenie etilbenzola (model'naya reakciya). M., Nauka, 376. 9. Denisov, E. T., Mickevich, N. I., Agabekov, V. E. (1975). Mehanizm zhidkofaznogo okisleniya kislorodsoderzhashhih soedineniy. Minsk, Nauka i tehnika, 334. 10. Emanuyel', N. M., Denisov, E. T., Mayzus, Z. K. (1965). Cepnye reakcii okisleniya uglevodorodov v zhidkoy faze. M., Nauka, 365.

Надійшла (received) 10.10.2014

УДК 577.3

Л. А. ПИХ, ст. преп., Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка;

Н. Н. ТИМЧЕНКО, канд. биол. наук, доц., Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка;

В. Е. НОВИКОВА, ст. преп., Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОТРОПНЫХ ПЕРЕСТРОЕК ГЕМОГЛОБИНА

Проведены исследования спектроскопических характеристик гемоглобина в интервале температур +5-+38°C. Рассмотрены температурные диапазоны, при которых происходит изменение конформации белка и содержания различных форм гемоглобина. При повышении

© Л. А. ПИХ, Н. Н. ТИМЧЕНКО, В. Е. НОВИКОВА 2014

температуры в эритроцитах и гемолизате наблюдается тенденция к уменьшению содержания оксиформы гемоглобина и увеличению содержания дезокси- и метформ гемоглобина, в гемолизате эта тенденция более выражена. Процесс перехода оксиформы в другие формы гемоглобина наблюдается при температурах выше +30°C для суспензии эритроцитов, выше +20°C для гемолизата и после +30-+35°C для гемоглобина. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: спектрофотометрия, эритроциты, гемоглобин, глобин, первые производные спектров поглощения, конформация, температура, термотропные перестройки.

Введение. Эритроциты — наиболее простые элементы организма. Хотя они и лишены ядра и цитоплазмы органоидов, тем не менее это клетки ограниченной и строго специализированной активности [1-6]. Красные кровяные тельца составляют одну из наиболее многочисленных клеточных разновидностей человеческого организма. Так, их число составляет примерно 25 триллионов или около 1:40 к общему количеству клеток взрослого человека. При нормальных условиях эритроциты находятся в кровообращении примерно 4 месяца (около 120 дней). На первой фазе (ретикулоцитов), хотя они крупнее, тем не менее, несут не полную нагрузку гемоглобина; созревание завершается за 1-3 дня, в течение которых клетки выполняют функцию переноса кислорода. На второй фазе (зрелых эритроцитов), полностью выполняющих свою функцию, они переносят кислород в одном направлении, а углекислый газ в обратном. На третьей фазе (дефицитных эритроцитов) с уменьшенной эффективностью по причине сокращения процессов обмена веществ, их подбирают макрофаги, тем самым открывая путь молодым клеткам, вступающим в функциональный цикл.

Для практической медицины очень важно знать, какое соотношение между формами гемоглобина (окси-, дезокси- и метформ) реализуется в экстремальных условиях. К числу таких экстремальных условий могут быть причислены как повышенные, так и пониженные температуры относительно нормы [7-9]. Чрезвычайно важным является определение содержания оксигенированной формы гемоглобина в этих условиях, так как оно определяет функциональную способность эритроцита переносить кислород.

Цель работы. Целью работы является исследование спектроскопических характеристик эритроцитарного белка в интервале температур +5-+38°C и определение температурных диапазонов, при которых происходит изменение конформации белка и содержания различных форм гемоглобина. Исследовали эритромассу, гемолизат, гемоглобин, глобин.

Методика экспериментов. Эритроциты осаждали путем трехкратного центрифугирования в течение 10 минут при 1500 g донорской крови и физиологического раствора в объемном соотношении 1:10. Гемолизат получали путем добавления одного объема дистиллированной воды и хранения 24 часа при +4°C, далее осаждали разрушенные клеточные мембраны при помощи ультрацентрифугирования при 15000 g в течение 15 мин. Гемоглобин очищали методом гель-проникающей хроматографии на колонке диаметром 25

мм и длиной 40 см, заполненной сефадексом G-100. Отцентрифугированный раствор гемоглобина (надосадок) наносили на колонку и проводили элюцию при +4°C. Концентрация гемоглобина в растворе контролировалась на спектрофотометре на длине волны 577 нм. Содержание окси-, дезокси- и метформ гемоглобина вычисляли по методу [10]. Готовили для исследований продажный выделенный глобин.

Обсуждение результатов. Экспериментальные данные по соотношению различных форм гемоглобина, полученные для эритромаксы донорской крови свидетельствуют, что при повышении температуры от +7°C до +30°C содержание различных форм гемоглобина остается примерно на одном уровне. При дальнейшем увеличении температуры до +38°C наблюдается переход оксиформы гемоглобина в дезокси- и метформы гемоглобина (уменьшается содержание оксиформы и увеличивается содержание мет- и дезоксиформы). Флуктуации (большое отклонение содержания формы гемоглобина от плавного хода температурной зависимости) наблюдаются в области +8°C и +18-+20°C. Исследования мутности суспензии эритроцитов донорской крови (на длине волны 700 нм, где считается, что объект специфически не поглощает свет, а только рассеивает) и интенсивности поглощения гема гемоглобина в полосе Соре (на длине волны 400 нм) за вычетом величины оптической плотности, измеренной на длине волны 700 нм (светорассеяние объекта), показали, что светорассеяние изменяется при температурах +6-+12°C, +15-+25°C, +29-+33°C. Наблюдается увеличение интенсивности поглощения в полосе Соре около +12-+18°C, +21-+29°C, +32-+37°C. Были также исследованы первые производные спектров поглощения суммарных белков эритроцитов донорской крови при +20°C (интенсивность поглощения суммарных белков измеряли в максимуме полосы поглощения, длина волны 275 нм, и вычитали интенсивность полосы поглощения суммарных белков в минимуме, длина волны 325 нм, где специфическое поглощение отсутствует). Показано, что они имеют отрицательные максимумы на следующих длинах волн: 283, 286, 292, 298 нм и плохоразрешенные – максимум на длинах волн 288-298 нм и плечо на 293-294 нм.

Экспериментальные данные по соотношению различных форм гемоглобина, полученные для гемолизата крови донорской крови показали, что при нагреве от +6°C до +38°C наблюдается уменьшение содержания оксиформы гемоглобина и увеличение содержания дезокси- и метформ. В диапазоне температур +20-+38°C наблюдается более резкое уменьшение содержания оксиформы по сравнению с уменьшением в диапазоне температур +6-+20°C. Также наблюдается более резкое увеличение содержания метформы гемоглобина в интервале температур +20-+38°C по сравнению с увеличением содержания дезоксигемоглобина. Исследования мутности гемолизата донорской крови, интенсивности поглощения белка и интенсивности поглощения гемоглобина в полосе Соре позволили показать, что

светорассеяние изменяется при температурах $+8$ - $+10^{\circ}\text{C}$, $+16$ - $+20^{\circ}\text{C}$, $+23$ - $+27^{\circ}\text{C}$, $+32$ - $+38^{\circ}\text{C}$. Интенсивность поглощения белка резко увеличивается в интервале температур $+20$ - $+32^{\circ}\text{C}$. Зависимость интенсивности поглощения гемоглобина в полосе Соре от температуры имеет максимумы при температурах $+12^{\circ}\text{C}$, $+28$ - $+32^{\circ}\text{C}$ и $+37^{\circ}\text{C}$. Были исследованы также первые производные спектров поглощения суммарных белков гемолизата донорской крови при $+20^{\circ}\text{C}$, показано, что они имеют отрицательные максимумы на следующих длинах волн: 286, 288, 292-293, 296-297 нм и плечо на 282-283 нм. Основные максимумы на 286 и 292-293 нм.

Экспериментальные данные по соотношению различных форм гемоглобина, полученные для гемоглобина донорской крови показали, что в области температур $+8^{\circ}\text{C}$ и $+23$ - $+26^{\circ}\text{C}$ наблюдаются флуктуации содержания окси- и дезоксиформ гемоглобина. После температуры $+30$ - $+35^{\circ}\text{C}$ уменьшается содержание окси- и увеличивается содержание дезокси- и метформы гемоглобина. Исследование температурных зависимостей мутности раствора гемоглобина донорской крови, интенсивности поглощения гемоглобина в полосе Соре и интенсивности поглощения белка гемоглобина показали, что светорассеяние изменяется в области температур $+26$ - $+28^{\circ}\text{C}$. Температурная зависимость мутности раствора гемоглобина имеет уменьшение мутности при $+26$ - $+28^{\circ}\text{C}$. Температурная зависимость интенсивности поглощения гемоглобина в полосе Соре имеет максимумы при температурах $+8$ - $+10^{\circ}\text{C}$, $+20^{\circ}\text{C}$, $+28$ - $+30^{\circ}\text{C}$ и минимум при температуре $+24^{\circ}\text{C}$. Интенсивность поглощения белка гемоглобина увеличивается в интервале температур $+14$ - $+23^{\circ}\text{C}$ и $+30$ - $+38^{\circ}\text{C}$, при температурах $+8$ - $+12^{\circ}\text{C}$ и $+22$ - $+30^{\circ}\text{C}$ температурная зависимость интенсивности поглощения белка гемоглобина не изменяется. Были исследованы первые производные спектров поглощения белка гемоглобина донорской крови при температуре $+20^{\circ}\text{C}$. Показано, что они имеют отрицательные максимумы на длинах волн 286, 293 и 298 нм и плечо на 291-292 нм. Максимум на 298 нм плохо разрешен.

Исследования спектров поглощения гемоглобина показали, что интенсивность поглощения гемоглобина изменяется в интервале температур от $+18$ - $+20^{\circ}\text{C}$ до $+37^{\circ}\text{C}$. Интенсивность светорассеяния изменяется при температурах $+5$ - $+10^{\circ}\text{C}$ $+28$ - $+30^{\circ}\text{C}$. Отрицательные максимумы первых производных спектров поглощения гемоглобина при $+20^{\circ}\text{C}$ наблюдаются при следующих длинах волн: 286, 293, 295 и 299 нм и плечо на длинах волн 283-284 нм. Анализ первых производных спектров поглощения гемоглобина в интервале температур $+6$ - $+38^{\circ}\text{C}$ показал, что положение максимумов первых производных спектров поглощения гемоглобина в зависимости от температуры остается практически постоянным. Исследование интенсивностей максимумов первых производных спектров поглощения гемоглобина показало, что для максимума на 283 нм наблюдается изменение интенсивности при температурах $+6$ - $+8^{\circ}\text{C}$ и $+24$ - $+27^{\circ}\text{C}$. Для максимума на 286 нм наблюдается изменение интенсивности при $+26$ - $+28^{\circ}\text{C}$; на 292 нм — при

температуре +26-+28°C; на 295 нм — при +6-+8°C; на 298 нм — при температуре +8-+10°C и +32-+35°C.

Исследования показали, что при повышении температуры в эритромассе (эритроцитах) и гемолизате наблюдается тенденция к уменьшению содержания оксиформы гемоглобина и увеличению содержания дезокси- и метформ гемоглобина, причем в гемолизате она более выражена, по-видимому, это связано с наличием разрушенных мембран эритроцитов в гемолизате. Процесс перехода оксиформы в другие формы гемоглобина наблюдается при температурах выше +30°C для суспензии эритроцитов, выше +20°C для гемолизата и после +30-+35°C для гемоглобина. Большие отклонения содержания различных форм гемоглобина от плавного хода температурной зависимости наблюдаются для эритромассы в области температур +10 и +18-+20°C, для гемоглобина — в области температур +5-+10°C и +20-+23°C, а в гемолизате подобного не наблюдается. При температурах около +10 и +30°C изменяется интенсивность светорассеяния гемоглобина и при этих же температурах изменяются интенсивности максимумов первых производных спектров поглощения гемоглобина. В гемоглобине же при температурах +30-+35°C происходит изменение способности гемоглобина переносить кислород — переход окси- в метформу. Кроме этого, в гемоглобине в ходе нагрева мало изменяется количество оксиформы, а в эритромассе и гемолизате (где имеются мембраны эритроцитов), наблюдается переход оксиформы в дезокси- и метформу. Это говорит о том, что мембраны эритроцитов являются решающим фактором для перехода оксиформы в дезокси- и метформу гемоглобина.

Выводы. При повышении температуры оксигемоглобин в эритроцитах и гемолизате переходит в дезокси- и метформу, причем в гемолизате он в основном переходит в метформу. Изменение содержания различных форм гемоглобина около +10°C и +30°C связано с конформационными изменениями белковой части гемоглобина.

Список литературы: 1. *Denniston, Katherine J.* General, organic and biochemistry [Text] / *Katherine J. Denniston, Joseph J. Topping, Robert L. Carey* - Towson University, 2007. - 801 P. 2. *Kagawa, Yasuo.* Биомембраны [Текст] / *Yasuo Kagawa* – М.: Высшая школа, 1985. - 303 С. 3. *Green, N.* Биология [Текст] / *N. Green, W. Stowt, D. Taylor* – М.: Мир, 1990. - Т.1. - 368 С. 4. *Eckert, R.* Физиология животных [Текст] / *R. Eckert, D. Randell, J. Augastin* – М.: Мир, 1992. - Т.1. - 424 С. 5. *Fairbanks, G.* Electrophoretic analysis of the major polypeptides of the human erythrocyte membrane [Text] / *G. Fairbanks, Theodore L. Steck, D.F.H. Wallach* // *Biochemistry*. - 1971. - Vol. 10, № 13. - P. 2606-2624. 6. *Fischer, Siegmund.* The binding of hemoglobin to membranes of normal and sickle erythrocytes [Text] / *Siegmund Fischer, Ronald L. Nagel* // *Biochimica et biophysica acta*. - 1975. - № 375. - P. 422-433. 7. *Бабийчук, Л. А.* Конформационные и объемные изменения эритроцитов в процессе замораживания-отогрева в зависимости от условий эквilibрации их с криопротектором ПЭО-1500 [Текст] / *Л.А. Бабийчук* // *Проблемы криобиологии*. - 1997. - № 3. - С. 8-15. 8. *Kruszyrna, Harriet.* Effects of temperature, oxygen, heme ligands and sulphhydryl alkylation on the reactions of nitroprusside and nitroglycerin with hemoglobin [Text] / *Harriet Kruszyrna, Robert Kruszyrna* // *Biochemical pharmacology*. - 1993. - Vol. 46, № 1. - P.

95-102. **9.** Морозова, Т. Ф. Влияние температуры на состояние внутриэритроцитарного гемоглобина [Текст] / Т. Ф. Морозова, Е. Д. Розанова, Н. Н. Тимченко // Вестник НТУ «ХПИ». - 2007. - № 30. - С. 69-73. **10.** Стусь, Л. Н. Осцилляция форм гемоглобина в процессе хранения крови [Текст] / Л. Н. Стусь, Е. Д. Розанова // Биофизика. - 1992. - Т.37, №2. - С. 387-388.

Bibliography (transliterated): **1.** Denniston, K. J. (2007). General, organic and biochemistry. Towson University, 801. **2.** Kagawa, Y. (1985). Biomembranes. Moscow, 303. **3.** Green, N. (1990). Biology. Moscow, Vol. 1, 368. **4.** Eckert, R. (1992). Physiology of animals. Moscow, Vol. 1, 424. **5.** Fairbanks, G. (1971). Electrophoretic analysis of the major polypeptides of the human erythrocyte membrane. Biochemistry, Vol. 10, 13, 2606-2624. **6.** Fischer, Siegmund. (1975). The binding of hemoglobin to membranes of normal and sickle erythrocytes. Biochimica et biophysica acta, 375, 422-433. **7.** Babiychuk, L.A. (1997). Conformational and volumetric changes in red cells in the process of freeze-thawing depending on the conditions of their equilibration with a PEO-1500 cryoprotectant. Problems of cryobiology, 3, 8-15. **8.** Kruszyna, Harriet. (1993). Effects of temperature, oxygen, heme ligands and sulphhydryl alkylation on the reactions of nitroprusside and nitroglycerin with hemoglobin. Biochemical pharmacology, Vol. 46, 1, 95-102. **9.** Morozova, T. F. (2007). Temperature influence on the state of hemoglobin inside erythrocyte. Vestik NTU «HPI», 30, 69-73. **10.** Stus, L. N. (1992). The oscillation of hemoglobins forms during blood storage. Biophysics. Vol.37, 2, 387-388.

Надійшла (received) 02.10.2014

УДК 664.0 637.52

Л. В. БАЛЬ-ПРИЛИПКО, д-р. техн. наук, проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ;

Б. І. ЛЕОНОВА, аспірант, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

АНАЛІЗ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПРИНЦИПІВ «БАР'ЄРНИХ» ТЕХНОЛОГІЙ

В статті представлено аналітичний огляд концептуальних принципів «бар'єрних» технологій, проведено оцінку перспективності їх практичної реалізації, висвітлено основні принципи оптимальної комбінації «бар'єрів» для створення синергетичного ефекту, з метою використання фундаментальних основ при розробці сучасних інноваційних технологій якісних та безпечних м'ясних продуктів, констатовано, що основні принципи «бар'єрів» можуть бути легко впроваджені в уже існуючі технологічні процеси виробництва м'ясних продуктів.

Ключові слова: якість, безпечність, «бар'єри», технологія, м'ясні продукти, фактори, принципи, теорія, консервація, контамінація.

Вступ та постановка проблеми. Гарантія якості і безпечності продовольчої сировини та харчових продуктів є найважливішим державним і науковим пріоритетом, що визначає здоров'я нації, збереження генофонду країни. Актуальність виробництва високоякісних м'ясних продуктів визначається стратегією формування здорового способу життя та раціонального харчування відповідно до стратегії державної політики в цій галузі [1] Виробництво м'ясних продуктів – це складний процес, який вимагає ретельного контролю відповідно до сучасної концепції «від лану до столу», (*«from farm to fork»*) що передбачає гарантію безпечності на всіх етапах [2]. В межах реалізації зазначеної концепції та забезпечення високої якості продукції в сучасній практиці м'ясопереробки застосовуються спеціалізовані системи контролю *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP), *International Food Standard* (IFS), *Food Safety Certification 22000* (FSSC 22000) та інші. Однак, жодна із зазначених систем контролю не може гарантувати 100 % безпечність продукції, тому для попередження ризиків на практиці застосовують різні види консервації. До контамінантів м'ясних продуктів відноситься досить великий спектр речовин хімічної (токсичні елементи, пестициди, нітрозозаміни, поліхлоровані біфеніли і т. д.), біологічної (цвілеві мікроскопічні гриби і мікотоксини, бактерії та бактеріальні токсини, дріжджі і т.д.) і фізичної природи, при цьому найбільшу небезпеку становлять мікробіологічні ризики [3] Між цими видами існує деяка кореляція, так часто псування, викликане протіканням процесів певного типу, може сприяти розвитку псування іншого типу [4]. Особливе занепокоєння на сучасному етапі викликає зростаюча токсигенність, швидка адаптація і пристосовуваність до умов існування, стійкість до різних параметрів умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів, які разом з сировиною або з інших джерел можуть потрапляти на підприємства м'ясопереробної галузі [5].

© Л. В. БАЛЬ-ПРИЛИПКО, Б. І. ЛЕОНОВА 2014

На думку вчених це відбувається внаслідок мутацій під дією систематичних зовнішніх факторів шоку (наприклад при збільшенні термінів придатності харчових продуктів), що призводять до перебудов в генетичному апараті бактеріальних клітин. Саме з такими формами патогенних бактерій пов'язують постійно зростаючу кількість харчових отруєнь. У зв'язку з цим, при розробці сучасних технологій м'ясних продуктів особливу увагу слід приділяти комбінації специфічних параметрів, які б формували найбільшу кількість стримуючих чинників для патогенної мікрофлори, у цьому аспекті актуальними є принципи бар'єрної технології.

Мета дослідження. Метою етапу комплексних досліджень був аналітичний огляд концептуальних принципів «бар'єрних» технологій для оцінки перспективності їх практичної реалізації та використання фундаментальних основ при розробці сучасних інноваційних технологій якісних та безпечних м'ясних продуктів.

Результати дослідження. Теорія «бар'єрів» вперше була сформульована німецьким вченим проф. Л. Ляйстнером. Вона ґрунтується на спільному використанні сукупності «бар'єрних» факторів для збереження якості продукції, що гальмують розвиток мікроорганізмів [6]. «Бар'єрна» технологія повинна бути орієнтована на забезпечення загальної якості продукту, через контроль патогенної мікрофлори, який нерозривно пов'язаний із стабілізацією інших параметрів, що формують безпечність. Основним поняттям, з точки зору даної теорії, є «гомеостаз»- внутрішній рівноважний стан мікробної клітини, порушення якого блокує її розмноження. Правильно підібрана комбінація різних «бар'єрів» призводить до того, що мікробна клітина тривалий час знаходиться в стані порушення гомеостазу (у стані стресу), направляючи внутрішні сили на відновлення рівноваги, а не на розмноження, це викликає метаболічне виснаження, а в деяких випадках може призводити навіть до самостерилізації харчового продукту.

Л. Ляйстнер констатував, що вирішальним для мікробіологічної стабільності майже всіх харчових продуктів є саме поєднання «бар'єрних» факторів. На рисунку 1 представлена ілюстрація механізму дії «бар'єрів» на мікроорганізми. Так, представники небажаної мікрофлори, що присутня у продукті не можуть подолати ('перестрибувати') штучно створені перешкоди («бар'єри») для подальшого розвитку, тому готовий продукт залишається мікробіологічно стабільним і безпечним [6].

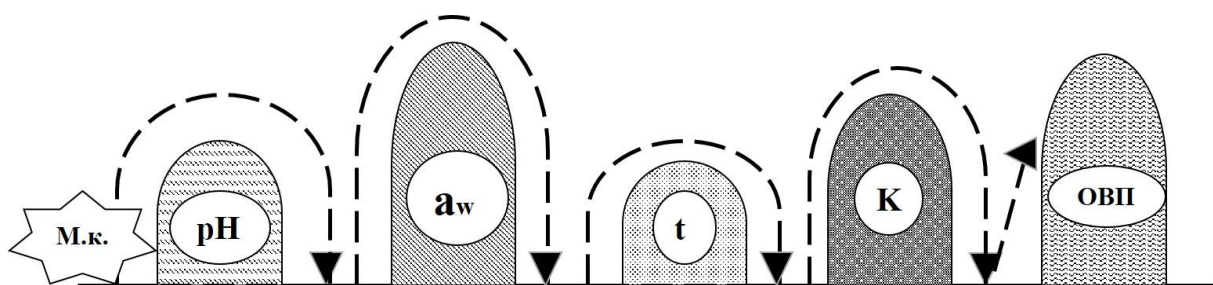


Рис. 1 – Принциповий механізм дії «бар'єрних» факторів на мікробну клітину (М.к.- мікробна клітина; a_w -активність води; t –температура; K –наявність консервантів; ОВР- окисно-відновний потенціал)

Відповідно до схеми рисунку 1 мікробна клітина намагається по черзі подолати створені «бар'єри», які поєднані в оптимальному співвідношенні, при цьому її ресурси витрачаються на боротьбу, і на певному етапі (на рисунку це «бар'єр» ОВП) клітина більше не в змозі функціонувати, наступає відмирання. До найважливіших «бар'єрних факторів» для м'ясних продуктів належить: низька початкова мікробна забрудненість сировини та матеріалів; активна кислотність (рН); окисно-відновний потенціал; активність води; наявність консервантів, бактеріостатиків; температурні режими зберігання та термічної обробки; наявність кисню (вакуумна упаковка, МГС тощо). *Початкова мікробна забрудненість сировини та матеріалів* – визначає рівень безпечності готової продукції. На початкову забрудненість м'ясної сировини в значній мірі впливає її температурний стан перед переробкою, а також способи обвалки. Доведено, що при температурі +5°C м'ясна сировина з рівнем початкового мікробного обсіменіння 1×10^2 КУО/г може зберігатися протягом 12 діб, якщо цей рівень становить з 1×10^4 КУО/г - ознаки псування (зміна кольору, неприємний запах, ослизнення поверхні і т.д.) з'являються вже на 5 -у добу, при мікробному обсіменінні 1×10^7 КУО/г подальша переробка сировини не можлива. [7]. Чим менша вихідна кількість бактерій, здатних викликати псування, тим ефективніше дія комбінації «бар'єрів», що будуть застосовуватись, так як вона блокуватиме розмноження мікроорганізмів, які формують початкову мікрофлору. Якщо інтенсивність певного «бар'єра» занадто низька, її слід збільшити, проте, якщо вона може завдати шкоди загальній якості, її слід знизити. Прикладом може слугувати рівень рН ферментованих ковбас, так як він має бути достатньо низьким, щоб попередити розвиток небажаної мікрофлори, при цьому не надто зниженим, щоб не чинити негативного впливу на органолептичні характеристики. Ці умови справедливі і для кількісного вмісту NaCl - надлишок погіршить смак, внаслідок чого продукт буде занадто солоним. Тому всі «бар'єри» в продукті повинні перебувати в оптимальній комбінації [19]. Доведено, що активна кислотність майже всіх мікробних клітин близька до 7. Ключові клітинні компоненти, як ДНК й АТФ, мають потребу саме в нейтральному середовищі, при якому біосистема знаходиться в стані рівноваги [8], однак деякі мікроорганізми здатні розвиватися при рН нижче 4,0 та вище 8,0, патогенні бактерії більш чутливі до рівня рН, ніж цвілі й дріжджі. Більшість м'ясних продуктів має рівень рН 5-7,5, що є оптимальним для розвитку патогенної мікрофлори. Величина рН впливає на функціонування ферментів і транспорт поживних речовин мікробної клітини. Саме тому, механізм пригнічення росту небажаної мікрофлори (консервантами, молочнокислою мікрофлорою тощо) обумовлений здатністю слабких харчових кислот проникати в мікробну клітину через мембрану, дисоціювати всередині клітини, змінюючи рН внутрішнього середовища в кислу сторону, тим самим створюючи стресовий стан. Неприятливий рівень рН, навіть у разі неповного пригнічення, робить мікробні клітини більш чутливими до дії речовин різної природи, якими можуть виступати інші «бар'єри». На сьогодні, активність води (a_w) розглядається, як параметр, що характеризує доступну для живлення мікроорганізмів вільну вологу [8]. Водна активність корелює зі швидкістю багатьох руйнівних реакцій (в

т.ч Маяра) в продукті, та використовується для оцінки стану води і її участі у хімічних і біологічних змінах. Активність води визначається як відношення тиску водяної пари над поверхнею живильного субстрату до тиску водяної пари над поверхнею чистої води при певній температурі. Доведено, що жоден з видів мікроорганізмів не може розмножуватися, якщо a_w нижче 0,6. З іншого боку, майже всі види мікроорганізмів розвиваються, якщо a_w вище 0,95. Різні види м'ясопродуктів характеризуються неоднаковими числовими значеннями a_w , що визначає різницю в ступені їх стійкості при зберіганні. Вміст біологічно доступної води у сировині залежить від породи худоби, її віку та кормового раціону [8].

Регулювання активності води може бути надійним «бар'єрним фактором» для гарантії безпечності м'ясних продуктів. Для кожного виду мікроорганізмів існують максимальне, мінімальне та оптимальне значення активності води. Відхилення значення від оптимального призводить до гальмування процесів життєдіяльності мікроорганізмів. При досягненні максимальної або мінімальної величини a_w життєдіяльність припиняється, але клітини ще гинуть. Відомо, що при зниженні активності води нижче оптимального рівня (0,95) відбувається пролонгування лаг-фази росту мікроорганізмів (періоду, коли клітини не здатні розмножуватися) та зниження чисельності кінцевої популяції за рахунок несприятливого впливу низького значення доступної (активної) вологи на всі метаболічні процеси мікробної клітини [9]. При a_w продукту нижче 0,6 мікроорганізми не розвиваються. В таблиці 1. наведено числові значення «бар'єрних» умов для розвитку мікроорганізмів, що викликають псування продуктів та харчові отруєння.

Таблиця 1-Числові значення «бар'єрних» умов для розвитку мікроорганізмів, що викликають псування продуктів та харчові отруєння [7]

Мікроорганізми	Порогові («бар'єрні») умови росту			Продукти, для яких характерне псування
	Температура, °С	Активність води	pH	
Мікроорганізми, що спричиняють псування продуктів				
Молочнокислі бактерії	4	0,94	3,5	Молоко, м'ясо у вакуумній упаковці
Мікрококи	4	0,90	5,0	Свіже і в'ялене м'ясо
<i>Acinetobacter spp.</i>	1	0,96	5,5	Свіже м'ясо, птиця, молоко
<i>Aspergillus niger</i>	0	0,80	1,2	М'ясні продукти
<i>Bacillus subtilis</i>	5	0,95	4,2-5,0	Свіже м'ясо і птиця, молоко
<i>Botrytis cinerea</i>	-2	0,93	2,5	М'ясні продукти
<i>Candida spp</i>	0	0,70	1,3	М'ясо, птиця, молочні та морепродукти

Продовження таблиці 1

<i>Enterobacter aerogenes</i>	2	0,95	4,4	Свіже м'ясо і птиця
<i>Penicillium spp</i>	-6	0,78-0,9	1,9	М'ясо, фрукти, овочі, крупи
<i>Pseudomonas spp.</i>	<0	0,97	5,5	Овочі, м'ясо, птиця, яйця
<i>Rhizopus stolonifer</i>	5	0,93	2,5	Свіже м'ясо
<i>Trichosporon spp.</i>	0	0,87	2,0	М'ясні, молочні та морепродукти
Мікроорганізми, що викликають отруєння				
<i>Bacils cereus</i>	10	0,92	4,9	Риба, свіже м'ясо, вода
<i>Campylobacter jejuni</i>	25	0,95	4,9	М'ясо, молоко
<i>Clostridium botulinum</i>	3,3	0,93	4,6	Консервовані м'ясні продукти
<i>Escherichia coli</i> 0157:H7	15	0,95	4,0	Овочі, м'ясо, птиця, молоко
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	0,92	4,3	Птиця, молочні продукти, м'ясо
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	0,86 (0,9 – утворення токсину)	4,0 (4,5 – утворення токсину)	М'ясо, птиця
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2	0,96	4,2	Свіже м'ясо, молоко, морепродукти
<i>Salmonella spp.</i>	7	0,94	4,0	Птиця, молочні продукти
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2	0,96	4,2	Свіже м'ясо, молоко, морепродукти

Численними дослідженнями доведено взаємозв'язок між показником активності води, температурою, наявністю поживних речовин. Так, при будь-якій температурі здатність мікроорганізмів рости знижується при зниженні значення активності води; діапазон активності води, вище якого відбувається ріст, найбільш високий при оптимальній температурі росту; а наявність поживних речовин розширює діапазон активності води, вище якого організми можуть вижити [6]. Температура є одним з важливих «бар'єрних» факторів, що впливає на розвиток мікрофлори. Бактерії, що найбільш інтенсивно розщеплюють білки, відносяться до мезофільних мікроорганізмів, тому даний вид псування швидше за все відбувається при температурі 25-40°C. Тому прискорене охолодження м'ясних туш після забою до 15 ° С гальмує ці процеси і використовується як

способу консервування м'яса. Для виготовлення м'ясопродуктів оптимальною («бар'єрною») є температура зберігання і переробки 0-2°C [6]. Крім температури навколишнього середовища «бар'єром» виступає термічна обробка. Термічна обробка - це сукупність послідовних складних фізико-хімічних процесів у м'ясній системі, спрямованих на фіксування форми і структури продукту, знищення вегетативної мікрофлори, формування органолептичних характеристик і підвищення стійкості продукту при зберіганні. При варінні м'ясних виробів до температури в центрі батону 68-72 °С гине до 99% вегетативної умовно-патогенної мікрофлори. Кількість залишкової життєздатної мікрофлори в значній мірі залежить від початкового мікробного обсіменіння - основоположного «бар'єрного» фактору. Процес копчення також підвищує мікробіологічну стабільність, внаслідок проникнення в продукт фракцій диму, що володіють високою бактерицидною і бактериостатичною здатністю. [6]. Окислювально-відновний потенціал (ОВП, редокс потенціал, Eh) - є кількісною мірою можливості системи приєднувати вільні електрони. ОВП еквівалентний мірі вільної енергії біохімічних реакцій, необхідної для відриву електронів від донорних сполук з подальшим приєднанням їх до хімічного акцептору. Принципова схема протікання окисно-відновних реакцій представлена на рисунку 2. Так, коли дві молекули вступають в контакт між ними відбувається обмін енергією - донор віддає електрони акцептору, при цьому сам окислюється (Ox), а молекула, що забрала вільні електрони відновлюється (Red). У біологічних системах, втрата або приєднання електрона являє собою найбільш частий механізм окисно-відновних реакцій.

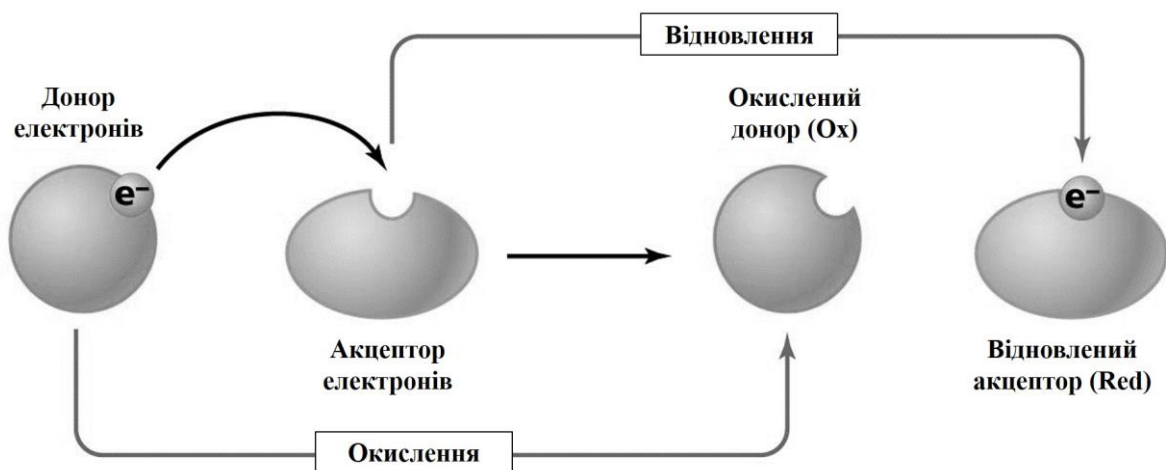


Рис.2- Принципова схема протікання окисно-відновних реакцій [6,7]

Поряд з активною кислотністю і активністю води, окисно-відновний потенціал може виступати перспективним «бар'єрним» фактором для м'ясних продуктів. Негативний редокс потенціал пригнічує аеробні мікроорганізми, що витримують присутність нітриту натрію, і створює позитивні умови для селекції молочнокислих бактерій. Анаеробним мікроорганізмам необхідно-негативне значення ОВП. Факультативні аероби можуть розмножуватися і при позитивних, і при негативних значеннях ОВП [6,7]. Тому регулювання величини редокс

потенціалу перспективно комбінувати зі іншими «бар'єрами» з урахуванням особливостей видового складу типової санітарно-показової мікрофлори м'ясних продуктів. Слід зазначити, що окисно-відновний потенціал м'ясних продуктів головним чином залежить від стану основної сировини, фізико-хімічних властивостей технологічної води, кількості повітря, що потрапило в м'ясну систему під час приготування фаршу (вакуумування значною мірою знижує окислювально-відновний потенціал) та умов подальшого технологічного процесу. Доведено, що ОВП м'ясних систем знижується під дією наступних факторів: внесення аскорбінової та ізоаскорбінової кислот, а також їх солей, при використанні в рецептурах активованих водних середовищ та певних видів амінокислот. Перераховані вище індекси чинять позитивний вплив на систему: інтенсифікують кольороутворення, сприяють швидкому і повному використанню нітриту натрію; запобігають утворенню канцерогенних нітрозамінів, покращують стійкість колірних характеристик, проявляють виражений антиоксидантний ефект, пролонгують терміни зберігання. Цукри та інші вуглеводи прямо чи опосередковано здатні понижувати редокс потенціал, так як забезпечують середовище життєдіяльності для корисних мікроорганізмів (наприклад молочнокислої мікрофлори).

Висновки. До найбільш ефективних додаткових «бар'єрів» можна віднести: ретельний вибір сировини, матеріалів, збалансованість рецептури (в т.ч. якість води для технологічних цілей); використання бактеріостатичних добавок і стартових культур, антиоксидантів і їх синергістів; вид оболонки; тривалість і комбінування режимів термообробки; вакуумну упаковку або модифіковану атмосферу; пастеризацію; обробку високим тиском. Отже, при розробці сучасних технологій м'ясних продуктів особливу увагу слід приділяти комбінації специфічних параметрів, які б формували найбільшу кількість стримуючих факторів для патогенної мікрофлори, у цьому аспекті перспективним є застосування принципів «бар'єрних» технологій.

Список літератури: 1. Про затвердження Концепції державної політики у сфері управління якістю продукції (товарів, робіт, послуг): Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.08.2002 р. № 447 [Текст] // Офіційний вісник України. – 2002. – № 34. – С. 238. 2. Food: from farm to fork statistics Luxembourg: Publications Office of the European Union 2011 [Text] – 164 p. 3. Robinson, R. K. Encyclopaedia of Food Microbiology. [Text]/ Robinson, R. K, Batt, C. A., Patel, P. D. // Academic Press: NY, 2000. 4. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: Расчет и испытание [Текст] / Р. Стеле – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с. 5. Gill, A. O. Interactive inhibition of meat spoilage and pathogenic bacteria by lysozyme, nisin, and EDTA in the presence of nitrite and sodium chloride at 24 °C [Text]/ Gill, A. O., Holley, R. A. // Int. J. of Food Microbiology. – 2003. – 80(3). – P. 251-259. 6. Leistner, L., Combined methods for food preservation. [Text]/ Leistner, L. // In: Shafiur Rahman, M. (Ed.), Handbook of Food Preservation, Marcel Dekker, New York-1999.-P 457-485. 7. Gock, M. A. Influence of temperature, water activity, and pH on growth of some xerophilic fungi [Text]/ Gock, M. A., Hocking, A. D., Pitt, J. L, Pulos, P. O. // Int. J. of Food Microbiology. – 2003. – 81(1). – P. 11-19. 8. Chirife, J. Water activity, water glass dynamics, and the control of microbial growth in foods [Text]/ Chirife, J., Buera, M. P. // Critical Reviews in Food Science and Nutrition . – 1996. – 36(5). – P. 465-513 9. Traller, J.A. Water relations of foodborne bacterial pathogens: an updated review. [Text]/ Traller, J.A. // J. Food Protect. -1986.-№49- P: 656-670.

Bibliography (transliterated): 1 On approval of the Concept of State Policy in the field of quality of goods (works, services): Cabinet of Ministers of Ukraine of 17.08.2002, № 447 [Text]//Official Herald of Ukraine. - 2002. - № 34. - P. 238. 2. Food: from farm to fork statistics Luxembourg: Publications Office of the European Union 2011 [Text] — 164 p. 3. *Robinson, R. K.* Encyclopaedia of Food Microbiology. [Text]/ *Robinson, R. K, Batt, C. A., Patel, P. D.*// Academic Press: NY, 2000. 4. *R. Stele* Shelf life of food products: Calculation and test. . [Text]/ *R. Stele* -480 p. 5. *Gill, A. O.* Interactive inhibition of meat spoilage and pathogenic bacteria by lysozyme, nisin, and EDTA in the presence of nitrite and sodium chloride at 24 °C [Text]/ *Gill, A. O., Holley, R. A.* // Int. J. of Food Microbiology. – 2003. – 80(3). – P. 251-259. 6. *Leistner, L.*, Combined methods for food preservation. [Text]/ *Leistner, L.* // In: Shafiur Rahman, M. (Ed.), Handbook of Food Preservation, Marcel Dekker, New York-1999.-P 457-485. 7. *Gock, M. A.* Influence of temperature, water activity, and pH on growth of some xerophilic fungi [Text]/ *Gock, M. A., Hocking, A. D., Pitt, J. L, Pulos, P. O.* // Int.J. of Food Microbiology. – 2003. – 81(1). – P.11-19. 8. *Chirife, J.* Water activity, water glass dynamics, and the control of microbial growth in foods [Text]/ *Chirife, J., Buera, M. P.* // Critical Reviews in Food Science and Nutrition . – 1996. – 36(5). – P. 465-513. 9. *Trailer, J.A.* Water relations of foodborne bacterial pathogens: an updated review. [Text]/ *Trailer, J.A.* //J. Food Protect. -1986.-№49- P: 656-670.

Надійшла (received) 05.06.2014

УДК 664.644.31

В. С. КАЛИНА, соискатель, НТУ «ХПИ»;

С. Ю. МЫКОЛЕНКО, канд. техн наук, доц., Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара;

М. В. ЛУЦЕНКО, канд. техн наук, доц., Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ЖИРОВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье приведены результаты исследований влияния жировых ингредиентов (нерафинированное и рафинированное жирное кориандровое масло) на качество хлебобулочных изделий, также описаны зависимости характеристик готовой продукции от различного процентного внесения исследуемых рецептурных компонентов. Установлено методом балльной оценки, что использование нерафинированного и рафинированного жирного кориандрового масла в технологии хлебобулочных изделий оказывает влияние на органолептические показатели готовых изделий и структурно-механические свойства мякиша. Стандартными методами определены физико-химические показатели хлебобулочных изделий (влажность, кислотность, пористость). Из.: 2. Библиогр.: 12.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, жирное кориандровое нерафинированное масло, жирное кориандровое рафинированное масло, жирные кислоты.

Введение. Одними из наиболее употребляемых населением пищевых продуктов являются хлебобулочные изделия. Несмотря на популярность этих продуктов повседневного употребления человека, они имеют достаточно несбалансированный химический состав и несовершенную пищевую и биологическую ценность. Известно, что переработка зерна в муку и дальнейшее ее использование для изготовления хлебобулочных изделий значительно

уменьшает биологическую ценность и сбалансированность основных полезных веществ. Будучи источником углеводов, в первую очередь – крахмала, хлебобулочные изделия содержат незначительное количество белков и жиров. В число основных тенденций, направленных на здоровое питание населения, входит обогащение хлебобулочных изделий различными полезными веществами для повышения их пищевой ценности [1]. Ситуацию может улучшить дополнительное внесение животных или растительных жиров в рецептуру хлебобулочных изделий. Известно, что важно не только основное содержание жира, но и качественный состав жирных кислот, которые входят в его состав [2]. Поэтому обогащение хлебобулочных изделий за счет растительных жиров целесообразно и может значительно улучшить их биологическую ценность. При выборе жиросодержащего сырья руководствуются, в первую очередь, его пищевой ценностью и способностью наибольшей мерой улучшать качество готового продукта [3]. Виды жировых продуктов, которые применяются в хлебопекарном производстве, различны: растительные жиры, шортенинги, маргарины – они различны по жирнокислотному составу и физико-механическим свойствам. Одним из интересных направлений с точки зрения повышения биологической ценности пищевой продукции есть использование в качестве дополнительного сырья хлебобулочного производства жирного кориандрового масла (ЖКМ), вырабатываемого из отходов эфиромасличного производства. ЖКМ сходно с оливковым маслом своим жирнокислотным составом, а биологически активных веществ в нем значительно больше, чем в подсолнечном масле. Особенностью жирнокислотного состава этого масла является то, что 82% всех жирных кислот составляют моноеновые кислоты: петрозелиновая и олеиновая, при этом петрозелиновой кислоты содержится 60-75% от общего содержания моноеновых жирных кислот [4-5, 7]. Известно, что петрозелиновая кислота имеет температуру плавления 30°C, также она является ненасыщенной жирной кислотой [6], поэтому использование ЖКМ в хлебопекарном производстве вместо маргарина может значительно увеличить полезность и качество готового продукта.

Исследование применения ЖКМ в производстве майонеза и маргарина показало, что физические и физиологические свойства нативных триацилглицеридов петрозелиновой кислоты обусловили возможность снижения более чем в два раза содержания трансизомеров жирных кислот в жировой основе маргарина. Так же установлено, что использование ЖКМ в рецептуре майонеза «Провансаль» возможно в случае предварительной рафинации, отбели и дезодорации ЖКМ [2]. Другим направлением этих исследований стало выяснение возможности применения ЖКМ в производстве хлебобулочных изделий. Предварительно была осуществлена рафинация ЖКМ по разработанному способу [8].

С целью изучения влияния ЖКМ на качество хлебобулочных изделий, ранее были проведены исследования образцов, приготовленных по методу пробного лабораторного выпекания. В качестве переменных величин были взяты рецептуры хлебобулочных изделий с различными жиросодержащими компонентами: рафинированное ЖКМ, нерафинированное ЖКМ, маргарин,

рафинированное подсолнечное масло. Количество этого сырья составляло 5% от массы муки. Было установлено методом бальной оценки, что использование рафинированного ЖКМ в технологии хлебобулочных изделий влияет на некоторые показатели готовых изделий, а именно способствует улучшению их структуры, пористости, состоянию поверхности [9]. Пищевая ценность готовых хлебобулочных изделий значительно повысилась за счет содержания в них ненасыщенных жирных кислот, а именно триацилглицеридов петрозелиновой кислоты, которые, как известно, снижают кровяное давление и уровень холестерина в крови человека [4-5].

Целью работы является:

- исследование влияния жировых ингредиентов (нерафинированное и рафинированное ЖКМ, маргарин) на качество хлебобулочных изделий;
- анализ зависимости показателей качества готовой продукции от количества внесенных жировых компонентов;

Методика экспериментов. Исследуемые образцы готовили с использованием пшеничной муки высшего сорта ТМ «Днипромлын», дрожжей хлебопекарных прессованных ТМ «Львовские», соли поваренной пищевой, жира (маргарин столовый, ЖКМ – нерафинированное ООО «Полиресурс», а рафинированное ЖКМ, полученное в лабораторных условиях способом обработки этиловым спиртом) и воды, количество которой вносили с учетом исходной влажности сырья по рецептуре. Рецептурные соотношения ингредиентов теста для приготовления хлебобулочных изделий представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Рецептура для приготовления теста

№ п/п	Наименование сырья	Количество, %
1	Мука высшего сорта	100
2	Дрожжи хлебопекарные прессованные	2,5
3	Соль поваренная пищевая	1,5
4	Жир	5
5	Вода	60

Во время проведения экспериментов образцы готовили по методу пробной лабораторной выпечки [1]. Общая продолжительность брожения теста составила 170 минут при температуре $31 \pm 1^\circ\text{C}$. Расстойку тестовых заготовок проводили при температуре $32-35^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 80-85%. После расстойки тестовые заготовки выпекали в лабораторной электропечи при температуре $220-230^\circ\text{C}$ на протяжении 17 минут.

После выпекания формового хлебобулочного изделия определяли его качество по органолептическим и физико-химическим показателям:

- органолептические показатели согласно методике, разработанной в МТИППе;
- влажность согласно ГОСТ 21094-75;

- кислотность в соответствии с ГОСТ 5670-96;
- пористость согласно ГОСТ 5669-96.

Обсуждение результатов. Качество готовых хлебобулочных изделий определяли методом бальной оценки. К органолептическим показателям относят внешний вид хлебобулочного изделия (правильность формы, цвет и состояние поверхности корки), состояние мякиша (цвет, структура пористости, реологические свойства), вкус и аромат. Во время оценки внешнего вида отмечалась симметричность и правильность формы хлебобулочного изделия. Изделия имели гладкую поверхность без трещин и подрывов. Цвет корки характеризовался как золотисто-желтый. Структуру пористости оценивали по размеру, равномерности распределения, толщине стенок пор. Реологические свойства мякиша определяли органолептически. Результаты исследований образцов хлебобулочных изделий с различными жировыми рецептурными ингредиентами представлены на рис. 1.

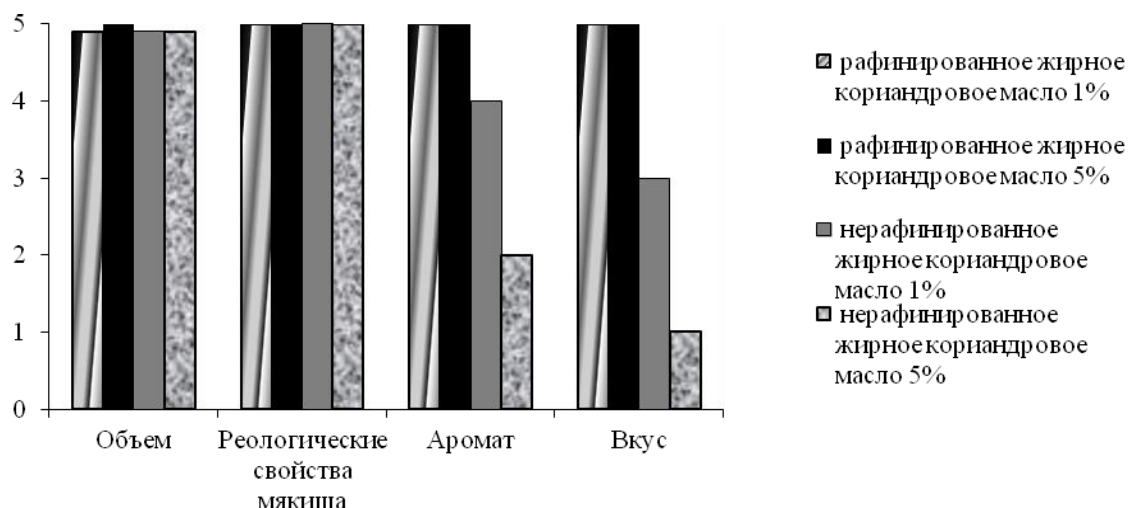


Рис.1 – Бальная оценка качества хлебобулочных изделий, приготовленных с использованием нерафинированного и рафинированного ЖКМ

Было установлено, что использование нерафинированного ЖКМ в хлебобулочных изделиях привело к появлению специфического аромата и вкуса. Данные признаки неприятных органолептических ощущений готовых изделий усиливались при условии увеличения указанного компонента в рецептуре. Это обусловлено наличием свободных жирных кислот в нерафинированном ЖКМ. Это свидетельствует о нецелесообразности использования такого вида сырья в технологии хлебобулочных изделий. Наряду с этим, использование рафинированного ЖКМ в количестве 1% и 5% от количества муки для приготовления исследуемых образцов позволило получить продукцию с улучшенными потребительскими свойствами. Этот факт подтверждает необходимость процесса рафинации ЖКМ при использовании его в пищевых целях, в частности, для производства хлебобулочных изделий. Вследствие рафинации ЖКМ, из него удаляются свободные жирные кислоты. Именно они при использовании нерафинированного ЖКМ придают готовому продукту

специфический аромат и вкус. Основным физико-химическим показателем, который отличает рафинированное ЖКМ от нерафинированного ЖКМ является кислотное число, которое для промышленного образца нерафинированного ЖКМ составляет 16 – 17 мг КОН/г, а для рафинированного ЖКМ составляет 0,4 – 0,6 мг КОН/г. [8].

С целью повышения качества хлебобулочных изделий было интересно исследовать влияние разного соотношения жировых ингредиентов на физико-химические показатели хлебобулочных изделий в случае постепенной замены традиционного рецептурного составляющего маргарин нетрадиционным сырьем ЖКМ. От массовой доли влаги хлебобулочных изделий зависит его физиологическая ценность и технико-экономические показатели работы хлебопекарных предприятий. Чем выше влажность мякиша изделия, тем меньше в нем питательных веществ и ниже его энергетическая ценность. Пористость хлебобулочных изделий с учетом ее структуры (величины пор, однородности, толщины стенок) характеризует усвояемость изделия. Изделие с хорошей тонкостенной пористостью быстрее пропитывается желудочным соком и лучше усваивается. Кислотность хлебопекарной продукции отображает содержание органических кислот и их солей в мякише изделия и зависит как от рецептурного состава продукта, так и от режимов ведения технологического процесса производства.

Результаты анализа хлебобулочных изделий, приготовленных по разным рецептурам, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели хлебобулочных изделий

№ п/п	Наименование жировых ингредиентов (их соотношение в хлебобулочных изделиях)	Физико-химические показатели хлебобулочных изделий			
		Влажность, %	Кислотность, град	Пористость, %	Удельный объем, см ³ /г
1	Маргарин (1:0)	31	2,0	72	4,6
2	Маргарин: рафинированное ЖКМ (3:1)	31	2,0	72	4,4
3	Маргарин: рафинированное ЖКМ (1:1)	28	2,0	72	4,6
4	Маргарин: рафинированное ЖКМ (1:3)	29	2,0	73	4,5
5	Рафинированное ЖКМ (1:0)	29	2,2	73	4,6
6	Нерафинированное ЖКМ (1:0)	31	2,6	70	4,0
Требования ГОСТ 21094-75 (не более); 5670-96 (не более); 5669-96 (не менее)		42	2,5	73	-

Данные таблицы свидетельствуют о том, что:

- влажность исследуемых образцов с рафинированным ЖКМ ниже показателей ГОСТа. Влажность, как правило, влияет на срок хранения готовой продукции: с ее увеличением – этот показатель уменьшается, что связано с повышением содержания в продукте свободной влаги. Снижение влажности исследуемых хлебобулочных изделий, увеличение относительного содержания сухих веществ продукта благоприятно влияет на срок его хранения, увеличивая последний до 3 дней, тогда как обычные изделия сохраняются свежими всего 2 дня.

- кислотность образцов находится в допустимых пределах, что подтверждает рациональность использования рафинированного ЖКМ в рецептуре хлебобулочных изделий как источник ненасыщенных жирных кислот. Также кислотность 2,6°Т в образце с нерафинированным ЖКМ доказывает необходимость процесса рафинации этого масла перед его использованием для пищевых целей. Повышенная кислотность изделий с нерафинированным ЖКМ обусловлена наличием в нем свободных жирных кислот, которые приводят к окислению и прогорканию продукта во время хранения;

- пористость образцов соответствует требованиям нормативно-технической документации для всех образцов, кроме изделий, в которых маргарин в рецептуре полностью заменен на нерафинированное ЖКМ.

- удельный объем хлебобулочного изделия – это показатель отношения объема изделия к его массе. Чем выше это отношение, тем лучше внешний вид изделия – изделия высокие, с выпуклой верхней коркой. Внесение в рецептуру ЖКМ приводит к некоторому увеличению удельного объема. Однако, при этом имеет значение вид ЖКМ. Удельный объем хлебобулочного изделия с нерафинированным ЖКМ более чем на пол единицы меньше удельного объема изделия с рафинированным ЖКМ (см. табл. 2). Неодинаковое влияние на удельный объем хлебобулочных изделий различных видов ЖКМ объясняется изменением его химического состава в процессе рафинации [12].

Так как все образцы, в рецептуре которых использовано рафинированное ЖКМ, соответствуют нормам по основным физико-химическим показателям качества для хлебобулочных изделий, а наличие триацилглицеридов петрозелиновой кислоты в готовой продукции повышает ее пищевую и биологическую ценность. Петрозелиновая кислота является изомером олеиновой кислоты, по своей природе есть ненасыщенной и, как доказано исследователями оказывает положительное влияние на живые организмы [5, 10-11]. Поэтому целесообразно использовать рафинированное ЖКМ в технологии хлебобулочных изделий.

Данные исследований подтверждает графическая зависимость физико-химических показателей хлебобулочных изделий от соотношения маргарин: ЖКМ представлена на рис. 2.

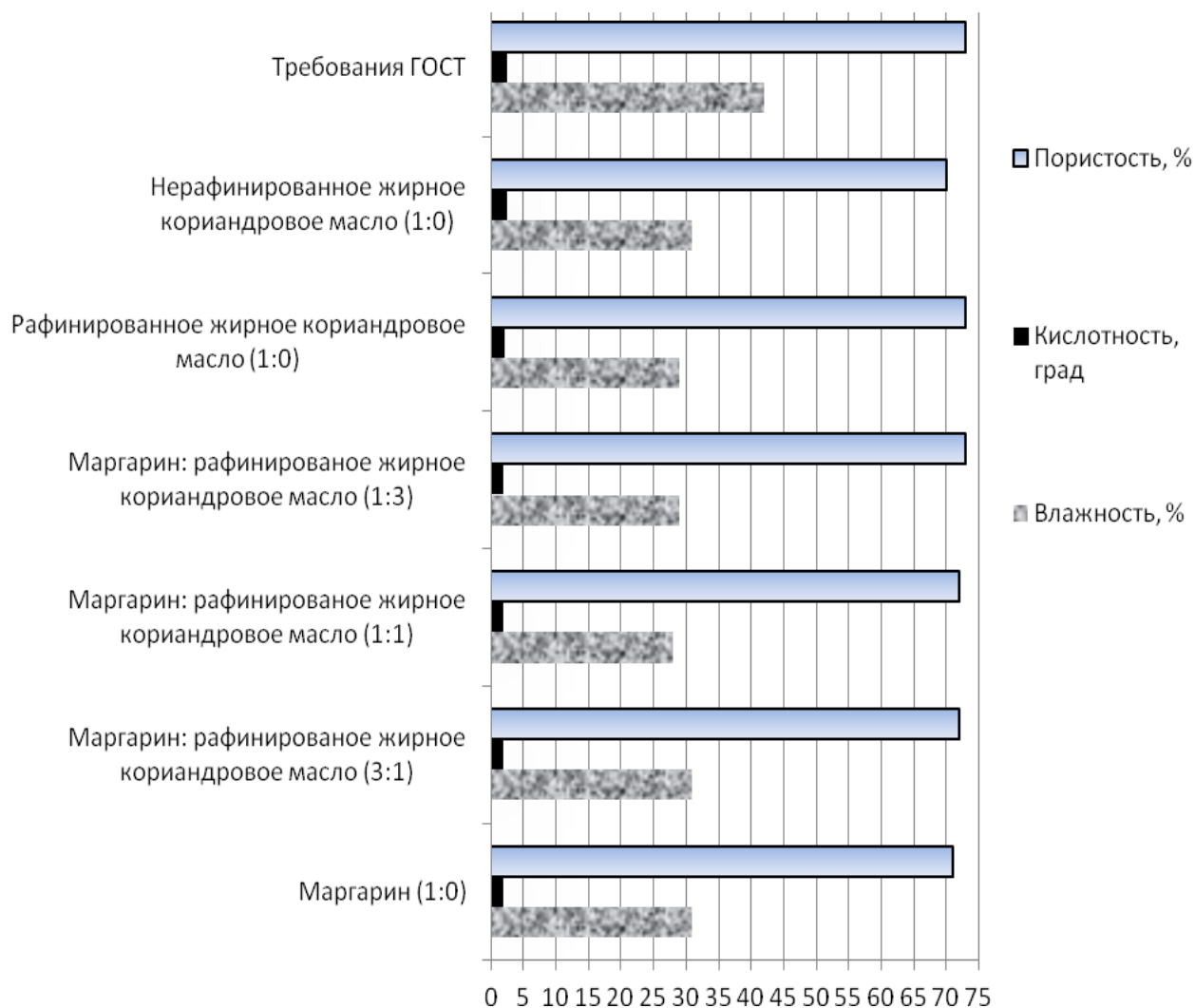


Рис.2 – Зависимость физико-химических показателей хлебобулочных изделий от соотношения маргарин : жирное кориандровое масло

Выводы. На основании изложенных данных, а также органолептической и экспертной оценок образцов формовых хлебобулочных изделий можно рекомендовать для производства внесение в рецептуру 5 % рафинированного ЖКМ. При этом улучшается вкус, цвет и аромат готовой выпечки, улучшаются его физико-химические показатели. Также следует рекомендовать применение в рецептурах хлебобулочных изделий именно рафинированного ЖКМ, которое обогащает готовые изделия ненасыщенными жирными кислотами и вносит разнообразие в ежедневный рацион человека.

Список литературы: 1. *Нилова Л.П.* Инновационный подход в оптимизации качества хлебобулочных изделий с добавленной пищевой ценностью/ Л.П. Нилова, Н.В. Науменко, И.В. Калинина// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2011. - Вып. № 21 (238). – С. 183-187. 2. *Григорьянц С.Г.* Разработка научных и практических основ использования жирного кориандрового масла в пищевых целях: автореферат на соискание степени канд. тех. наук. – С. П., 1998. 3. *Бобыльов Ю. П.* «Концепції сучасного хлібопекарства».- К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 244с. 4. *Romadon, M.F., Morsel, J.T.* Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds // European Food Research and Technology.- 2002. -Vol.215. – № 3. pp. 204-209. 5. *Carlo Agostoni, Roberto Berni Canani* «Scientific Opinion on the safety of “coriander seed oil” as a Novel Food ingredient». –

EFSA Journal. – 2013. – №11(10):3422. – P. 20. **6.** A.S. Charvef , L.C. Comeau, E.M. Gaydou. New Preparation of Pure Petroselinic Acid from Fennel Oil (*Foeniculum vulgate*)// JAOCS. – 1991. – Vol. 68, № 8. – P. 604-607. **7.** O.N. Ertas, T. Guler, M. Ciftci, B. Dalkilic and O. Yilmaz. The Effect of a Dietary Supplement Coriander Seeds on the Fatty Acid Composition of Breast Muscle in Japanese Quail// Revue Med. Vet. – 2005. – P. 514-518. **8.** Дослідження впливу коріандрової олії на якість хлібобулочних виробів. Калина В.С., Луценко М.В., Миколенко С.Ю., Дубовик О.В. Третя міжнародна науково-технічна конференція «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей». Київ: НУХТ. – С. 122-123. **9.** Заявка на видачу патенту на корисну модель № а 201315532 від 30.12.2013. Спосіб рафінації жирної коріандрової олії / Калина В.С., Гладкий Ф.Ф., Луценко М.В., Шляпников В.О. **10.** Chaiw-Yee Teoh and Wing-Keong Ng. Evaluation of the Impact of Dietary Petroselinic Acid on the Growth Performance, Fatty Acid Composition, and Efficacy of Long Chain-Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis of Farmed Nile Tilapia// J. Agric. Food Chem. – 2013. – P. A-M. **11.** Kleiman R., Spencer J. F. Search for New Industrial Oils: XVI. Umbelliflorae – Seed Oils Rich in Petroselinic Acid//J. Amer. Oil. Chem. Soc. – 1982. – Vol. 59, № 1. – P. 29-38. **12.** Гладкий Ф.Ф., Калина В.С., Луценко М.В. Визначення раціональних параметрів проведення рафінації жирної коріандрової олії.// Харчова наука і технологія. – Одеса:ОНАХТ, 2013. – № 4 (25). – С. 98–101.

Bibliography (transliterated): **1.** Nilova L.P. Innovative approach to optimize the quality of bakery products with added nutritional value / L.P. Nilova, N.V Naumenko, I.V Kalinina// Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. - 2011. - Issue. № 21 (238). – С. 183-187. **2.** Grigoryants S. Development of scientific and practical bases in bold coriander oil for food purposes: dissertation for the degree of Cand. those. Sciences. – С. П., 1998. **3.** Bobylev Y. "Concepts of Modern hlibopekarstva." - Kyiv Center of textbooks, 2003. – 244с. **4.** Romadon, M.F., Morsel, J.T. Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds // European Food Research and Technology.- 2002. -Vol.215. – № 3. pp. 204-209. **5.** Carlo Agostoni, Roberto Berni Canani «Scientific Opinion on the safety of “coriander seed oil” as a Novel Food ingredient». – EFSA Journal. – 2013. – №11 (10):3422. – P. 20. **6.** A.S. Charvef , L.C. Comeau, E.M. Gaydou. New Preparation of Pure Petroselinic Acid from Fennel Oil (*Foeniculum vulgate*)// JAOCS. – 1991. – Vol. 68, № 8. – P. 604-607. **7.** O.N. Ertas, T. Guler, M. Ciftci, B. Dalkilic and O. Yilmaz. The Effect of a Dietary Supplement Coriander Seeds on the Fatty Acid Composition of Breast Muscle in Japanese Quail // Revue Med. Vet. – 2005. – P. 514-518. **8.** Research on the impact of Coriander oil quality bakery products. Kalyna V., Lytsenko M., Mykolenko S., Dubovik O. Third International Scientific Conference "Engineering: progress, achievements and prospects of development of meat, oil and fat and dairy industries." Kyiv: NUFT. – С. 122-123. **9.** An application for the issuance a patent for useful model № а 201315532 from 30.12.2013. Method of refining oil fatty Coriander / Kalyna V., Gladkiy F., Lytsenko M., Shlyapnykov V. **10.** Chaiw-Yee Teoh and Wing-Keong Ng. Evaluation of the Impact of Dietary Petroselinic Acid on the Growth Performance, Fatty Acid Composition, and Efficacy of Long Chain-Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis of Farmed Nile Tilapia// J. Agric. Food Chem. – 2013. – P. A-M. **11.** Kleiman R., Spencer J. F. Search for New Industrial Oils: XVI. Umbelliflorae – Seed Oils Rich in Petroselinic Acid//J. Amer. Oil. Chem. Soc. – 1982. – Vol. 59, № 1. – P. 29-38. **12.** Gladkiy F., Kalyna V., Lytsenko M. Definition of rational parameters of conduct refining fatty oils Coriander. // Food Science and Technology. - Odessa: ONAFT, 2013. – № 4 (25). – С. 98–101.

Надійшла (received) 30.07.2014

РЕФЕРАТИ

УДК.62-529

Датчик крутного моменту / М. О. Мітцель // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.3-9. – Іл.: 8. Бібліогр.: 10 назв. ISSN 2079-5459

У статті запропоновано докладний технічний опис і принцип роботи електронного датчика крутного моменту оригінальної конструкції, розробленого на кафедрі "Автомобіле-і тракторобудування" НТУ "ХПІ" для випробувального стенду двухпоточної гідрооб'ємно-механічної трансмісії. Дано практичні рекомендації з виготовлення, налаштування і монтажу датчиків залежно від місця їх кріплення, наведені отримані експериментальні залежності.

Ключові слова: крутний момент, тензомост, тензопідсилювач, крутний момент, аналогово-цифровий перетворювач, цифро-аналоговий перетворювач, тарировка.

УДК 620.191.33

Вплив концентрації водню в металі на тріщиностійкість трубопроводів ТЕС / А. М. Сиротюк, Р. А. Барна, Р. Л. Лещак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.9-20. – Іл.: 12. Бібліогр.: 13. назв. – ISSN 2079-5459

Розглянуто випадок наявності техногенних органічних домішок у теплоносії парогенеруючих систем енергоблоків, що є потенційним джерелом наводнювання металу живильних трубопроводів. Показано, що прискорений розвиток тріщиноподібних дефектів в металі трубопроводу із зростанням концентрації органічних домішок у робочому середовищі спричинений зростанням ступеня наводнюваності металу. Визначено розподіл локальної концентрації водню біля вершини корозійно-втомної тріщини. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю росту тріщини та локальною концентрацією водню біля її вершини.

Ключові слова: трубопровідна сталь; водні робочі середовища; органічні домішки; циклічне навантаження; корозійно-втомні тріщини; коефіцієнт інтенсивності напружень; швидкість росту тріщини; локальна концентрація водню.

УДК 621.785.53

Порівняльний аналіз впливу газового та іонно-плазмового азотування на зміну структури і властивостей легованої сталі 30X3BA / К. О. Костик, В. О. Костик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.21-41. – Іл.: 19. Бібліогр.:18. назв. – ISSN 2079-5459

Метою роботи є вивчення структури і властивостей плунжерів з легованої сталі 30X3BA після газового та іонно-плазмового азотування. В порівнянні з газовим азотуванням іонно-плазмове азотування забезпечує: скорочення тривалості обробки 5–10 разів, як за рахунок скорочення часу нагріву і охолодження садки, так і за рахунок зменшення часу ізотермічної витримки; зниження крихкості зміцненого шару; скорочення витрат робочих газів в 20–100 разів; скорочення витрат електроенергії в 1,5–3 разів; виключення операції депасивації; зниження деформації, що виключає фінішне шліфування; простоту й надійність екранного захисту від азотування незміцнюємих поверхонь; покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва.

Ключові слова: легована сталь, газове азотування, іонно-плазмове азотування, хіміко-термічна обробка, дифузійний шар, глибина шару, мікрокрихкість.

УДК 629.735.03:621.43.031.3(045)

Методика розрахунку характеристик осьового компресора на зривних режимах / Ю. М. Терещенко, К. В. Дорошенко, А. Техрані // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в

сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 48 (1090). – С.41-48. – Іл.: 4. Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

В роботі представлено методику розрахунку характеристик осьового компресору на зривних режимах роботи. Результати розрахунку показали, що урахування характеристик режимів запирання течії в межлопаткових каналах останніх ступенів дозволяє точніше розрахувати положення границі газодинамічної стійкості на характеристиці багатоступеневого осьового компресору. Розрахункове значення границі газодинамічної стійкості зміщується праворуч - в бік більших витрат повітря.

Ключові слова: методика, характеристика, компресор, запирання, течія, решітка, зрив, газодинамічна стійкість, розрахунок, режим.

УДК 537.311.33:669.782

Оптимізація теплових умов вирощування монокристалів кремнію за методом чохранського / Є. О. Голєв, І. Ф. Червоний // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 48 (1090). – С.48-55. – Іл.: 1. Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

Розглянуті прийоми оптимізації теплового вузла для вирощування монокристалів кремнію методом Чохральського. Для створення заданих теплових умов вирощування монокристалів в конструкцію теплового вузла вводяться додаткові тепло ізолюючі екрани і спеціальний верхній конусний екран. Сумісна дія системи додаткових екранів і розташування теплового вузла дозволила понизити непродуктивні втрати тепла, внаслідок чого споживана нагрівачем потужність знизилася на 33 %.

Ключові слова: кремній, теплою вузол, екран, метод Чохральського, тепло, потужність, тигель, швидкість, розплав, градієнт.

УДК 004.738.52:004.031

Інформаційні моделі спостережуваних процесів для моніторингу комп'ютерних мереж / В. І. Сасенко, О. І. Гриценко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 48 (1090). – С.55-66. – Іл.: 4. Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Розглядаються питання теорії, методології та практики моніторингу комп'ютерних мереж. Акцент зроблений на описі статистичних характеристик спостережуваних процесів, які узагальнені в вигляді інформаційних моделей. В основі роботи лежить ідея апріорної визначеності спостережуваних процесів, для яких можна вибрати значення деяких характеристик практично без проведення вимірювань. У рамках технології WMI розглянуто приклад оцінювання розроблених інформаційних моделей.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, моніторинг, WMI, CIM, апроксимація, стохастичний процес, інформаційна модель.

УДК 004.922, УДК 623.438.3.001.85

Порівняльний аналіз проєкцій для комп'ютерної графіки / П. О. Качанов, А. О. Зуєв, К. М. Яценко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – 48 (1090). – С.66-73. – Іл.: 3. Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

У статті приводиться огляд проєкцій що використовуються в системах візуалізації. Проводиться порівняльний аналіз прямої лінійної перспективи, перцептивної перспективи та проєкції Паніні. Розглянуті математичні моделі проєктивних перетворювань. На основі цього виводяться їх основні переваги та недоліки при створенні зображення тривимірної сцени на площині. Представлені відомості про просторове сприйняття людиною навколишнього світу. Зроблені висновки щодо практичного застосування проєктивних перетворювань в комп'ютерній графіці, а також про можливості реалізації.

Ключові слова: пряма перспектива, перцептивна перспектива, проєкція Паніні, ведута, Раушенбах, великий кут огляду.

УДК 621.3.078

Електромеханічна система з векторно-керованим асинхронним електроприводом в умовах невизначеності математичної моделі / М. Я. Островерхов, М. П. Бурик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.73-79. – Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Представлено електромеханічну систему, яка забезпечує слабку чутливість до зміни параметрів векторно-керованого асинхронного електропривода, а також здійснюють його динамічну декомпозицію. Алгоритми керування отримано при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій в поєднанні з концепцією зворотних задач динаміки в умовах невизначеності моделі об'єкту. Регулятори системи мають нетипову структуру і не містять параметрів об'єкту керування, що характерно для класичних регуляторів.

Ключові слова: електромеханіка, електропривод, система, регулювання, параметри, варіація, функціонал, якість.

УДК 656.96:330.123.6

Обґрунтування ринкової стратегії в роботі транспортно-експедиторської компанії / В. В. Очеретна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.79-85. – Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

У статті розглянута ринкова стратегія транспортно-експедиторської компанії як об'єкту управління, розуміння її внутрішніх взаємозв'язків і механізмів функціонування. Обґрунтовується цілісна відкрита система компанії з певною внутрішньою організацією. А також розглядається рівень організації процесів, якість їх виконання, що впливають на кінцеві споживчі властивості транспортно-експедиторської послуги, які у свою чергу безпосередньо пов'язані з конкурентоспроможністю послуги.

Ключові слова: транспортно-експедиторська компанія, ринкова стратегія, конкурентоспроможність, ресурси, транспортування, послуга, консолідація.

УДК 004.32; 004.48; 004.45; 004.82

Дослідження особливостей організації систем єдиного входу. Частина 2: Організація єдиного доступу в підмережі / Ж. Ю. Зеленцова, О. О. Йона // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.85-91. – Іл.: 1. Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

Пропонується технологічне рішення задачі ідентифікації користувачів при їх доступі до мультисервісних систем. Показується, що рішення може привести до зниження кількості використовуваних адаптивних (інтелектуальних) методик процесу ІАМ в сучасних ІТ-платформах. Акцентується увага на тому, що пропонований підхід є актуальним для вирішення проблеми гіперпідключеності в підмережах, для яких характерна велика кількість даних, пристроїв та користувачів.

Ключові слова: системи єдиного входу, організація доступу, Single Sign-On, iGenotype, e-passport.

УДК 631.22

Програмно-інформаційна система оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні / О. В. Строкань // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.91-96. – Іл.: 4. Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

Запропоновано програмно-інформаційну систему оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні, головною задачею якої є видання рекомендацій щодо кількості встановлених аероіонізаторів у заданому приміщенні і забезпечення нормованих показників таких параметрів мікроклімату робочого приміщення, як температура і концентрація від'ємних аероіонів. Запропонована система функціонує на базі програмного забезпечення. Інформаційне вікно користувача системи має зручний і простий інтерфейс, за допомогою

якого користувач має змогу спостерігати за поточним значенням температури і концентрації від'ємних аероіонів у виробничому приміщенні.

Ключові слова: мікроклімат, програмне забезпечення, температура, аероіонізаційний режим, аероіонізатор, управляючий вплив, система.

УДК 620.2:684.433.3

Оптимізація параметрів нового конструктивного елементу з метою підвищення стійкості меблевих тканин до тертя / С. В. Сорокіна, В. О. Акмен, В. А. Афанасьєва // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.96-102. – Іл.: 5. Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

У зв'язку з наявністю проблеми швидкого зношування м'якого елементу диванів протягом сну, запропоновано параметри нового конструктивного елемента з метою зменшення навантаження тертя на тканеве покриття. Шляхом математичного комп'ютерного моделювання, за допомогою методу кореляційно-регресивного аналізу проведено оптимізацію параметрів розміру та маси конструктивного елементу та обрано найбільш оптимальне значення ваги нового елементу, яка складає 4,7 кг при щільності використаного матеріалу – 252 кг/м³ та розмірах 55*241*18 см.

Ключові слова: диван, меблева тканина, оптимізація параметрів, накидка-оболонка, стійкість до тертя.

УДК 519.872

Моделювання системи $GI / G / c / 0 / L // G$ методом Монте-Карло / С. В. Пустова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.102-109. – Іл.: 2. Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

Використовуючи метод Монте-Карло, було розроблено алгоритм моделювання СМО типу $GI / G / c / 0 / L // G$, тобто багатоканальної системи обслуговування із загальним вхідним потоком вимог, загальними часами обслуговування, орбітою обмеженої ємності та загальним розподілом інтервалів часу між надходженнями повторних вимог до системи з орбіти. Наведено розроблений алгоритм статистичного моделювання залежності кількості вимог в системі масового обслуговування типу $GI / G / c / 0 / L // G$ від часу.

Ключові слова: теорія масового обслуговування, статистичне моделювання, системи з поверненням вимог, повторні виклики.

УДК 614.84:534.014.1

Математична модель коливань вантажу при повороті крана як безпека устаткування / О. Г. Янчик, Ю. О. Градиський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – 48 (1090). – С.109-115. – Іл.: 3. Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

В статті розглянута розрахункова схема стрілової системи крана з двома ступенями свободи в умовах рівномірного і нерівномірного нерівноприскореного повороту. Проведено дослідження впливу відцентрованих сил коливання вантажу, при цьому сформульована та запропонована математична модель, яка є частиною узагальненої моделі крану. Встановлені зони безпечних амплітуд коливань і безпечних зон експлуатації таких кранів з позиції виключення порушень техніки безпеки при використанні стрілових систем кранів. Запропоновано внесення змін до технологічних карт вантажно-розвантажувальних робіт з метою підвищення рівня безпеки устаткування.

Ключові слова: підйомно-транспортні машини, безпека устаткування, рівномірний поворот, нерівномірний нерівноприскорений поворот.

УДК 656.212

Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень в організації вагонопотоків / О. О. Мазуренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних

технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – 48 (1090). – С.115-121. – Іл.: 2. Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459

Розглянуто можливість розробки системи підтримки прийняття рішень при оперативному управлінні організацією вагонопотоків. Дана система повинна базуватися на існуючих автоматизованих системах, використовувати їх інформаційну базу. Крім цього система підтримки прийняття рішень повинна оцінити всі можливі варіанти за допомогою імітаційного моделювання та запропонувати раціональне рішення з урахуванням всіх впливаючих факторів.

Ключові слова: вагонопоток, двогрупний поїзд, імітаційна модель, система підтримки прийняття рішень.

УДК 621.327

Моделювання УФ-випромінювання при бактерицидному знезараженні води / А. О. Семенов, Т. В. Сахно, А. Д. Кобищан // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 48 (1090). – С.122-128. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В роботі представлені результати поширення УФ-випромінювання в воді. Сформовані основні загальні критерії для розробки і проектування УФ-установок для бактерицидного знезараження води. Наведена залежність інтенсивності випромінювання від коефіцієнта проникності. На основі проведених досліджень запропоновано гідродинамічну модель, яка дає можливість розрахувати ефективну дозу бактерицидного знезараження. Запропонована модель враховує чутливість мікроорганізмів до УФ-випромінювання і конструктивні особливості установки.

Ключові слова: УФ-випромінювання, доза бактерицидного знезараження, інактивація мікроорганізмів, гідродинамічна модель.

УДК 661.961.1

Застосування методів термодинаміки незворотних процесів для опису закономірностей виділення водню в реакціях взаємодії алюмінієвих сплавів з водою / Н. Ф. Добрицька, В. Б. Трошенякін // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 48 (1090). – С.128-139. – Бібліогр.: 35 назв. – ISSN 2079-5459

У статті проаналізовані переваги і недоліки методів термодинаміки незворотних процесів та дифузійної кінетики, що описують закономірності виділення водню в реакціях взаємодії алюмінієвих сплавів з водою.

Запропоновано взяти за міру рушійної сили реакції хімічний потенціал, а чинники, які гальмують процес, можуть бути прирівняні до тертя.

Для дотримання балансу приходу і відводу тепла швидкість виділення водню слід визначати в два етапи. На першому етапі необхідно оцінити інтенсивність тепловіддачі і по ній знайти кількість водню, який виділився в одиницю часу. На другому етапі та ж швидкість розраховується залежно від наявного хімічного потенціалу з урахуванням кінетичного, адсорбційного та дифузійного опорів. Причому хімічний потенціал визначається для поверхневих шарів.

Ключові слова: термодинаміка, швидкість виділення водню, алюмінієві сплави, повнота реакції, хімічний потенціал.

УДК 541.127: 542.943

Дослідження реакції озону з метилфенілкарбінолом в оцтовій кислоті / А. С. Бушуєв, О. О. Колбасюк, Г. А. Галстян // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. – № 48 (1090). – С.139-148. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Досліджено реакцію озону з метилфенілкарбінолом – напівпродуктом реакції окиснення етилбензену. Показано, що при температурі 15оС озон реагує переважно по бічному ланцюгу з утворенням ацетофенону (95%) і лише ~5% метилфенілкарбінолу руйнується за ароматичним

кільцем. З підвищенням температури кількість ацетофенону зменшується, переважно за рахунок його подальшого окиснення до бензойної кислоти. Вивчена макрокінетика процесу, запропонована хімічна схема перетворень, яка задовільно пояснює одержані експериментальні дані.

Ключові слова: озон, окиснення, метилфенілкарбінол, ацетофенон, бензойна кислота, оцтова кислота, константа швидкості.

УДК 577.3

Дослідження термотропних перебудов гемоглобіну / Л. О. Піх, Н. М. Тимченко, В. Є. Новікова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.148-153. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Проведено дослідження спектроскопічних характеристик гемоглобіну в інтервалі температур +5-+38оС. Розглянуті температурні діапазони, при яких відбувається зміна конформації білків і вмісту різних форм гемоглобіну. При підвищенні температури в еритроцитах і гемолізаті спостерігається тенденція до зменшення вмісту оксиформи гемоглобіну та збільшення вмісту дезокси- і метформ гемоглобіну, в гемолізаті ця тенденція більш виражена. Процес переходу оксиформи в інші форми гемоглобіну виражен при температурах вище +30оС для суспензії еритроцитів, вище +20оС для гемолізату і після +30-+35оС для гемоглобіну.

Ключові слова: спектрофотометрія, еритроцити, гемоглобін, глобін, перші похідні спектрів поглинання, конформація, температура, терморопні перебудови.

УДК 664.0 637.52

Аналіз концептуальних принципів «бар'єрних» технологій / Л. В. Баль-Прилипко, Б. И. Леонова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.154-161. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В статті представлено аналітичний огляд концептуальних принципів «бар'єрних» технологій, проведено оцінку перспективності їх практичної реалізації, висвітлено основні принципи оптимальної комбінації «бар'єрів» для створення синергетичного ефекту, з метою використання фундаментальних основ при розробці сучасних інноваційних технологій якісних та безпечних м'ясних продуктів, констатовано, що основні принципи «бар'єрів» можуть бути легко впроваджені в уже існуючі технологічні процеси виробництва м'ясних продуктів.

Ключові слова: якість, безпечність, «бар'єри», технологія, м'ясні продукти, фактори.

УДК 664.644.31

Використання нових жирових інгредієнтів для виробництва хлібобулочних виробів / В. С. Калина, С. Ю. Миколенко, М. В. Луценко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. – № 48 (1090). – С.161-168. – Іл.: 2. Бібліогр.: 12.. – ISSN 2079-5459

У статті наведено результати досліджень впливу жирових інгредієнтів (нерафінована і рафінована жирна коріандрова олія) на якість хлібобулочних виробів, також описані залежності характеристик готової продукції від дозування досліджуваних рецептурних компонентів. Встановлено методом бальної оцінки, що використання нерафінованої та рафінованої жирної коріандрової олії в технології хлібобулочних виробів впливає на органолептичні показники готових виробів і структурно-механічні властивості м'якушки. Стандартними методами визначені фізико-хімічні показники хлібобулочних виробів (вологість, кислотність, пористість).

Ключові слова: хлібобулочні вироби, нерафінована жирна коріандрова олія, рафінована жирна коріандрова олія, жирні кислоти.

РЕФЕРАТЫ

УДК.62-529

Датчик крутящего момента / Н. А. Митцель // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.3-9. – Ил.: 8. Библиогр.: 10 назв. ISSN 2079-5459

В статье предложено подробное техническое описание и принцип работы электронного датчика крутящего момента оригинальной конструкции, разработанного на кафедре "Автомобиле- и тракторостроения" НТУ "ХПИ" для испытательного стенда двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссии. Даны практические рекомендации по изготовлению, настройке и монтажу датчиков в зависимости от места их крепления, приведены полученные экспериментальные зависимости.

Ключевые слова: крутящий момент, тензомост, тензоусилитель, крутящий момент, аналогово-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, тарировка.

УДК 620.191.33

Влияние концентрации водорода в металле на трещиностойкость трубопроводов ТЭС / А. М. Сыротюк, Р. А. Барна, Р. Л. Лещак // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.9-20. – Ил.: 12. Библиогр.: 13. назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрен случай наличия техногенных органических примесей в теплоносителе парогенерирующих систем энергоблоков, что является потенциальным источником наводороживания металла питательных трубопроводов. Показано, что ускоренное развитие трещиноподобных дефектов в металле трубопровода при возрастании концентрации органических примесей в рабочей среде вызван возрастанием степени наводороживания металла. Определено распределение локальной концентрации водорода около вершины коррозионно-усталостной трещины. Установлена взаимосвязь между скоростью роста трещины и локальной концентрацией водорода около ее вершины.

Ключевые слова: трубопроводная сталь; водные рабочие среды; органические примеси; циклические нагрузки; коррозионно-усталостные трещины; коэффициент интенсивности напряжений; скорость роста трещины; локальная концентрация водорода.

УДК 621.785.53

Сравнительный анализ влияния газового и ионно-плазменного азотирования на изменение структуры и свойств легированной стали 30Х3ВА / Е. А. Костик, В. О. Костик // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.21-41. – Ил.: 19. Библиогр.:18. назв. – ISSN 2079-5459

Целью работы является изучение структуры и свойств плунжеров из легированной стали 30Х3ВА после газового и ионно-плазменного азотирования. По сравнению с газовым азотированием ионно-плазменное азотирование обеспечивает: сокращение продолжительности обработки 5-10 раз, как за счет сокращения времени нагрева и охлаждения садки, так и за счет уменьшения времени изотермической выдержки; снижение хрупкости упрочненного слоя; сокращение расходов рабочих газов в 20-100 раз; сокращение расхода электроэнергии в 1,5-3 раза; исключение операции депассивации; снижение деформации, что исключает финишное шлифование; простоту и надежность экранной защиты от азотирования необрабатываемых поверхностей; улучшение санитарно-гигиенических условий производства.

Ключевые слова: легированная сталь, газовое азотирование, ионно-плазменное азотирование, химико-термическая обработка, диффузионный слой, глубина слоя, микрохрупкость.

УДК 629.735.03:621.43.031.3(045)

Методика расчета характеристик осевого компрессора на срывных режимах / Ю. М. Терещенко, Е. В. Дорошенко, А. Техрани // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в

современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.41-48. – Ил.: 4. Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

В работе представлена методика расчета характеристик осевого компрессора на срывных режимах работы. Результаты расчета показали, что учет характеристик режимов записывания течения в межлопаточных каналах последних ступеней позволяет более точно рассчитать положение границы газодинамической устойчивости на характеристике многоступенчатого осевого компрессора. Расчетное значение границы газодинамической устойчивости сдвигается вправо - в сторону больших расходов воздуха.

Ключевые слова: методика, характеристика, компрессор, записывание, течение, решетка, срыв, газодинамическая устойчивость, расчет, режим.

УДК 537.311.33:669.782

Оптимизация тепловых условий выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского / Е. А. Голев, И. Ф. Червоний // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.48-55. – Ил.: 1. Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрены приемы оптимизации теплового узла для выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского. Для создания заданных тепловых условий выращивания монокристаллов в конструкцию теплового узла вводятся дополнительные теплоизолирующие экраны и специальный верхний конусный экран. Совместное действие системы дополнительных экранов и расположение теплового узла позволило снизить непроизводительные потери тепла, в результате чего потребляемая нагревателем мощность снизилась на 33 %.

Ключевые слова: кремний, тепловой узел, экран, метод Чохральского, тепло, мощность, тигель, скорость, расплав, градиент.

УДК 004.738.52:004.031

Информационные модели наблюдаемых процессов для мониторинга компьютерных сетей / В. И. Саенко, А. И. Гриценко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.55-66. – Ил.: 4. Библиогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459

Рассматриваются вопросы теории, методологии и практики мониторинга компьютерных сетей. Акцент сделан на описании характеристик наблюдаемых процессов, обобщаемых в виде информационных моделей. В основе работы лежит идея априорной определенности наблюдаемых процессов, для которых можно сформировать значения некоторых характеристик практически без проведения измерений. В рамках технологии WMI рассмотрен пример оценивания разработанных информационных моделей.

Ключевые слова: компьютерная сеть, мониторинг, WMI, CIM, аппроксимация, случайный процесс, информационная модель.

УДК 004.922, УДК 623.438.3.001.85

Сравнительный анализ проекций для компьютерной графики / П. А. Качанов, А. А. Зуев, К. Н. Яценко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.66-73. – Ил.: 3. Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

В статье приводится обзор проекций применяемых в системах визуализации. Проведен сравнительный анализ прямой перспективы, перцептивной перспективы и проекции Панини. Рассмотрены математические модели проективных преобразований. На основании этого определены основные преимущества и недостатки при создании изображения трехмерной сцены на плоскости. Представлены сведения о пространственном восприятии человеком окружающего мира. Сделаны выводы относительно практического применения рассмотренных проективных преобразований в компьютерной графике, а так же о возможности реализации.

Ключевые слова: прямая перспектива, перцептивная перспектива, проекция Панини, ведута, Раушенбах, большой угол обзора.

УДК 621.3.078

Электромеханическая система с векторноуправляемым асинхронным электроприводом в условиях неопределенности математической модели / Н. Я. Островерхов, Н. П. Бурик // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.73-79. – Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Представлена электромеханическая система, которая обеспечивает слабую чувствительность к изменению параметров векторно-управляемого асинхронного электропривода, а также осуществляет его динамическую декомпозицию. Алгоритмы управления получены при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий в соединении с концепцией обратных задач динамики в условиях неопределенности математической модели объекта. Регуляторы системы имеют нетиповую структуру и не содержат параметров объекта управления, что характерно для классических регуляторов.

Ключевые слова: электромеханика, электропривод, система, регулирование, параметры, вариация, функционал, качество.

УДК 656.96:330.123.6

Обоснования рыночной стратегии в работе транспортно-экспедиторской компании / В. В. Очеретная // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.79-85. – Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В статье рассмотрена рыночная стратегия транспортно-экспедиторской компании как объекта управления, понимание ее внутренних взаимосвязей и механизмов функционирования. Обосновывается целостная открытая система компании с определенной внутренней организацией. А так же рассматривается уровень организации процессов, качество их выполнения, влияющие на конечные потребительские свойства транспортно-экспедиторской услуги, которые в свою очередь напрямую связаны с конкурентоспособностью услуги.

Ключевые слова: транспортно-экспедиторская компания, рыночная стратегия, конкурентоспособность, ресурсы, транспортировка, услуга, консолидация.

УДК 004.32; 004.48; 004.45; 004.82

Исследование особенностей организации систем единого входа. Часть 2: Организация единого доступа в подсети / Ж. Ю. Зеленцова, Е. О. Йона // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.85-91. – Ил.: 1. Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

Предлагается технологическое решение идентификации пользователей при их доступе к мультисервисным системам. Показывается, что решение может привести к снижению количества применяемых адаптивных (интеллектуальных) методик процесса IAM в современных ИТ-платформах. Акцентируется внимание на том, что предлагаемый подход актуален для решения проблемы гипер-подключенности в подсетях, для которых характерно большое количество данных, устройств и пользователей.

Ключевые слова: системы единого входа, организация доступа, Single Sign-On, iGenotype, e-passport.

УДК 631.22

Программно-информационная система оптимизации микроклимата в производственном помещении / О. В. Строкань // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.91-96. – Ил.: 5. Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

Предложена программно-информационная система оптимизации микроклимата в производственном помещении, главной задачей которой является выдача рекомендаций по количеству устанавливаемых аэроионизаторов в заданном помещении и обеспечение нормированных показателей таких параметров микроклимата рабочего помещения, как температура и концентрация отрицательных аэроионов. Предложенная система функционирует на базе программного обеспечения. Информационное окно пользователя системы имеет удобный и простой интерфейс, посредством которого пользователь имеет возможность наблюдать за текущими значениями температуры и концентрации отрицательных аэроионов в производственном помещении.

Ключевые слова: микроклимат, программное обеспечение, температура, аэроионизационный режим, аэроионизатор, управляющее воздействие, система.

УДК 620.2:684.433.3

Оптимизация параметров нового конструктивного элемента с целью повышения стойкости мебельных тканей к истиранию / С. В. Сорокина, В. А. Акмен, В. А. Афанасьева // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.96-102. – Ил.: 5. Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

В связи с наличием проблемы быстрого изнашивания мягкого элемента диванов на протяжении сна, предложены параметры нового конструктивного элемента с целью уменьшения нагрузки трения на тканевое покрытие. Путем математического компьютерного моделирования, с помощью метода корреляционно-регрессивного анализа проведена оптимизация параметров размера и массы конструктивного элемента и выбрано наиболее оптимальное значение веса нового элемента, который составляет 4,7 кг при плотности использованного материала- 252 кг/м³ и размерах 55*241*18 см.

Ключевые слова: диван, мебельная ткань, оптимизация параметров, накидка-оболонка, стойкость к трению.

УДК 519.872

Моделирование системы $GI/G/c/O/L//G$ методом Монте-Карло / С. В. Пустовая // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.102-109. – Ил.: 2. Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459

Используя метод Монте-Карло, был разработан алгоритм моделирования СМО типа $GI/G/c/O/L//G$, то есть многоканальной системы обслуживания с общим входящим потоком требований, общими часами обслуживания, орбитой ограниченной емкости и общим законом распределения интервалов времени между поступлениями повторных требований в систему из орбиты. Приведен разработанный алгоритм статистического моделирования зависимости количества требований в системе массового обслуживания типа $GI/G/c/O/L//G$ от времени.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, статистическое моделирование, системы с возвращениями требований, повторные вызовы.

УДК 614.84:534.014.1

Математическая модель колебаний груза при повороте крана как безопасность оборудования / А. Г. Янчик, Ю. А. Градыский // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.109-115. – Ил.: 3. Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459

В статье рассмотрена расчётная схема стреловой системы крана с двумя степенями свободы в условиях равномерного и неравномерного не равноускоренного поворота. Проведено исследование влияния отцентрованных сил колебания груза, при этом сформулирована и предложена математическая модель, которая есть частью обобщённой модели крана. Установлены зоны неопасных амплитуд колебаний и безопасных зон эксплуатации таких кранов с позиции исключения нарушения правил безопасности при

использовании стреловых систем. Предложено занести изменения к технологическим картам загрузочно-разгрузочным работам с целью повышения безопасности оборудования.

Ключевые слова: подъемно-транспортные машины, безопасность оборудования, равномерный поворот, неравномерный неравноускоренный поворот.

УДК 656.212

Перспективы развития систем поддержки принятия решений в организации вагонопотоков / А. А. Мазуренко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.115-121. – Ил.: 2. Библиогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459

Рассмотрена возможность разработки системы поддержки принятия решений при оперативном управлении организацией вагонопотоков. Данная система должна базироваться на существующих автоматизированных системах, использовать их информационную базу. Кроме этого система поддержки принятия решений должна оценивать все возможные варианты при помощи имитационного моделирования и предложить рациональное решение с учетом всех влияющих факторов.

Ключевые слова: вагонопоток, двугруппный поезд, имитационная модель, система поддержки принятия решений.

УДК 621.327

Моделирование УФ-излучения при бактерицидном обеззараживании воды / А. А. Семенов, Т. В. Сахно, А. Д. Кобыщан // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.122-128. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В работе представлены результаты распространения УФ-излучения в воде. Сформированы основные общие критерии для разработки и проектирования УФ-установок для бактерицидного обеззараживания воды. Приведена зависимость интенсивности излучения от коэффициента проницаемости. На основе проведенных исследований предложено гидродинамическую модель, которая дает возможность рассчитать эффективную дозу бактерицидного обеззараживания. Предложенная модель учитывает чувствительность микроорганизмов к УФ-излучению и конструктивные особенности установки.

Ключевые слова: УФ-излучение, доза бактерицидного обеззараживания, инаktivация микроорганизмов, гидродинамическая модель.

УДК 661.961.1

Применение методов термодинамики необратимых процессов для описания закономерностей выделения водорода в реакциях взаимодействия алюминиевых сплавов с водой / Н. Ф. Добрицкая, В. Б. Трошенкин // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.128-139. – Библиогр.: 35 назв. – ISSN 2079-5459

В статье проанализированы преимущества и недостатки методов термодинамики необратимых процессов и диффузионной кинетики, описывающих закономерности выделения водорода в реакциях взаимодействия алюминиевых сплавов с водой.

Предложено принять за меру движущей силы реакции химический потенциал, а факторы, тормозящие процесс, могут быть приравнены к трению.

Для соблюдения баланса прихода и отвода тепла скорость выделения водорода следует определять в два этапа. На первом этапе необходимо оценить интенсивность теплоотдачи и по ней найти количество выделяемого водорода в единицу времени. На втором этапе та же скорость рассчитывается в зависимости от располагаемого химического потенциала с учетом кинетического, адсорбционного и диффузионного сопротивлений. Причем химический потенциал определяется для поверхностных слоев.

Ключевые слова: термодинамика, скорость выделения водорода, алюминиевые сплавы, полнота реакции, химический потенциал.

УДК 541.127: 542.943

Исследование реакции озона с метилфенилкарбинолом в уксусной кислоте / А. С. Бушуев, А. О. Колбасюк, Г. А. Галстян // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.139-148. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Исследовано реакцию озона с метилфенилкарбинолом – полупродуктом реакции окисления этилбензола. Показано, что при температуре 15°C озон реагирует в основном по боковой цепи с образованием ацетофенона (95%) і только ~5% метилфенилкарбинола разрушается по ароматическому кольцу. С повышением температуры количество ацетофенона уменьшается, в основном за счёт его дальнейшего окисления до бензойной кислоты. Изучена макрокинетика процесса, предложена химическая схема превращений, которая удовлетворительно объясняет полученные экспериментальные данные.

Ключевые слова: озон, окисление, метилфенилкарбинол, ацетофенон, бензойная кислота, уксусная кислота, константа скорости.

УДК 577.3

Исследование термотропных перестроек гемоглобина / Л. А. Пих, Н. Н. Тимченко, В. Е. Новикова // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.148-153. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Проведены исследования спектроскопических характеристик гемоглобина в интервале температур +5-+38оС. Рассмотрены температурные диапазоны, при которых происходит изменение конформации белка и содержания различных форм гемоглобина. При повышении температуры в эритроцитах и гемолизате наблюдается тенденция к уменьшению содержания оксиформы гемоглобина и увеличению содержания дезокси- и метформ гемоглобина, в гемолизате эта тенденция более выражена. Процесс перехода оксиформы в другие формы гемоглобина хорошо выражен при температурах выше +30оС для суспензии эритроцитов, выше +20оС для гемолизата и после +30-+35оС для гемоглобина.

Ключевые слова: спектрофотометрия, эритроциты, гемоглобин, глобин, первые производные спектров поглощения, конформация, температура, термотропные перестройки.

УДК 664.0 637.52

Анализ концептуальных принципов «барьерных» технологий / Л. В. Баль-Прилипко, Б. И. Леонова // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.154-161. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

В статье представлен аналитический обзор концептуальных принципов «барьерных» технологий, проведена оценка перспективности их практической реализации, освещены основные принципы оптимального сочетания «барьеров» для создания синергетического эффекта, с целью использования фундаментальных основ при разработке современных инновационных технологий качественных и безопасных мясных продуктов, констатировано, что основные принципы «барьеров» могут быть легко внедрены в уже существующие технологические процессы производства мясных продуктов.

Ключевые слова: качество, безопасность, «барьеры», технология, мясные продукты, факторы, принципы, теория, консервация, контаминация.

УДК 664.644.31

Использование новых жировых ингредиентов в производстве хлебобулочных изделий / В. С. Калина, С. Ю. Мыколенко, М. В. Луценко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х: НТУ «ХПИ», – 2014. – № 48 (1090). – С.161-168. – Ил.: 2. Библиогр.: 12.. – ISSN 2079-5459

В статье приведены результаты исследований влияния жировых ингредиентов (нерафинированное и рафинированное жирное кориандровое масло) на качество

хлебобулочных изделий, так же описаны зависимости характеристик готовой продукции от различного процентного внесения исследуемых рецептурных компонентов. Установлено методом балльной оценки, что использование нерафинированного и рафинированного жирного кориандрового масла в технологии хлебобулочных изделий оказывает влияние на органолептические показатели готовых изделий и структурно-механические свойства мякиша. Стандартными методами определены физико-химические показатели хлебобулочных изделий (влажность, кислотность, пористость).

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, жирное кориандровое масло нерафинированное и рафинированное, маргарин, жирные кислоты.

ABSTRACTS

UDC 62-529

Torque sensor / Mittsel N. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.3-9. Im.: 8. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

The article prompted a detailed technical description and principle of operation of the electronic torque sensor original design, developed at the Department of "Automobile and tractor" NTU "KhPI" for the testing double-split hydrostatic mechanical transmission. Developed sensor has the same high performance characteristics as a static shafts, and on rotating. The structure of the sensor consists of only low-cost radio elements. The design allows the sensor to link it to a minimum volume, and the balancing of the shaft due to the small weight of the sensor is not required. The sensitivity of the sensor allows you to see starting torque in the drive, and the upper measuring range can be adjusted by a gain of strain amplifier. This article describes the function of each of the blocks of the sensor. Practical recommendations for the construction, setup and installation of sensors depending on the site of attachment the experimental dependence are given.

Keywords: torque, tensegrity gauge, strain amplifier, torque, analog-to-digital converter, a digital-to-analog converter calibration.

UDC 620.191.33

Influence of hydrogen concentration in metal on crack growth resistance of HPP pipelines / Syrotyuk A., Barna R., Leshchak R. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.9-20. Im.: 12. Bibliogr.: 13. ISSN 2079-5459

The case of presence of the man-caused organic admixtures in the heat-transfer environment of steam generating of HPP, which are the potential source of hydrogenation of metal of feeding pipelines, was considered. The formic acid of different concentration was used as organic admixtures. It should be noted that such admixtures were chosen on the base of the preliminary investigations, which showed that formic acid is the most corrosion aggressive addition with respect to pipes metal among others, which were detected in natural reservoir for the given power plants. It has been shown that increasing of the formic acid concentration leads to increasing of the hydrogenation of metal and as results to increasing of crack-like defect growth rate. The relationship between fatigue crack growth rate and local hydrogen concentration near crack tip has been established for pipeline steel based on experimental data on crack propagation and results of measurement of the local hydrogen concentration near the crack tip under different hydrogenating conditions. The formula for determination of crack growth rate as function of local hydrogen concentration in the crack tip, hydrogen concentration in bulk of metal and stress intensity factor range has been derived.

Keywords: structural steel; aqueous operating environment; organic admixtures; cyclic loading; corrosion fatigue crack; stress intensity factor; crack growth rate; local concentration of hydrogen.

UDC 621.785.53

The comparative analysis of influence of gas and ion-plasma nitriding on changing the structure and properties of alloy steel 30Cr3W / Kostyk K., Kostyk V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.21-41. Im.: 19. Bibliogr.: 18. ISSN 2079-5459

The aim of this work is to study the structure and properties of plungers of alloy steel after gas and ion-plasma nitriding. Material for study in this research work is a structural heat-resistant alloy steel 30Cr3W. Gas nitriding of the plungers with the investigated steel during 50 hours strengthens the surface layer up to 10.5 GPa at a depth of 0.3 mm, with a score of microbrittleness from 0 to 1.8 points. Plasma nitriding process of the same part at temperature of 525 °C for 5 hours provides the ability to get hardness of the surface layer to 11.0 GPa at a depth of 0.35 mm, with a score of microbrittleness from 0 to 1.5 points. Compared to gas nitriding plasma nitriding process provides: reduced processing time 5-10 times, both by reducing the time of the heating and cooling charge, and by reducing the time of isothermal aging; reducing the brittleness of the hardened layer; reducing costs of working gases in 20-100 times; reduction of energy consumption by 1.5-3 times, with the exception of the operation depaiva; reduction deformity, which eliminates the finish grinding; the simplicity and reliability of a screen protection nitriding nutmeg surfaces; the improvement of sanitary-hygienic conditions of production.

Keywords: alloy steel, gas nitriding, ion-plasma nitriding process, chemical-thermal processing, diffusion layer, layer depth, microbrittleness.

UDC 629.735.03:621.43.031.3(045)

Methodology rozrachunku characteristics osobogo of compressor on drevnih modes / Tereschenko Y., Doroshenko K., Tehrani A. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.41-48. Im.: 4. Bibliogr.: 11. ISSN 2079-5459

One of the most pressing problems in the design and creation of gas turbine engines is to define the boundaries of dynamic stability of multistage axial compressors. This paper presents a method of calculating the characteristics of a multi-stage axial compressor Hot galvanized anti tearing modes with the modes of "blocking" flow in the last stages. The general problem is solved using the method of calculating the characteristics of the compressor based on the summation of the characteristics of its stages. Refinement of this method is that the stability boundary of a multistage compressor is calculated taking into account the effect of the boundary layer on the flow in the last stages of interscapular channels operating at large negative angles of attack on the regime of "blocking" flow. As the results of the design study, locking flow in the last stages of the compressor leads to a shift of the calculated values of dynamic stability boundary to the right (in the direction of higher air flow). In a gas turbine engine parameters change the thermodynamic throttling motor is an order of magnitude faster than the change in the kinematic parameters of the rotor (RPM), and therefore the operating point moves along the pressure line to the border closing Airflow (almost at a constant given speed). As a result of closing during the last stages of flow separation is initiated in the early stages. All known techniques dynamic stability calculation is made without taking into account the processes occurring at shutoff flow in the last stages. The survey revealed that the occurrence of locking modes are strongly influenced by the flow (thickness, angles of the) (bending angles midline, the relative thickness of the profile and the relative position of the point of maximum thickness along the chord of the profile). Calculation of dynamic stability in a known manner, taking into account the characteristics of flow regimes locking allows for more precise placement of dynamic stability characteristics in the axial multistage compressor using the proposed method.

Keywords: methods, characteristics, compressor, locking, for, grid, breakdown, gas-dynamic stability, payment mode.

UDC 537.311.33:669.782

Optimization of thermal terms of growing of single-crystals of silicon by method of czochralski / Goliev Y., Chervony I. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern

technologies. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014.-№ 48 (1090).- P.48-55. Im.: 1. Bibliogr.: 11. ISSN 2079-5459

We propose an optimized thermal unit installation expressed schivani-ya-silicon single crystals by the Czochralski method with the introduction of additional thermal insulation screens and change the location of the main elements of the thermal unit in the cell cultivation. Upgraded heating unit contained three additional insulating screen made of a composite material based on carbon-coated pirografitovym: double screen cylinder forms the lower horizontal screen and the top screen of the conical shape. The combined action of additional screens and the location of the thermal unit, in the lowest possible position it possible to reduce wasteful heat loss, resulting in consumption of the heater power has decreased by 33 %. Impact of additional heat-insulating screen of conical shape has led to optimization of the temperature distribution on the surface of the silicon melt near the solidification front as well as the walls of the crucible and in the grown single crystal. It is possible to increase the speed of the single crystal growing by 44 % and the productivity of the process of growing by 34 %.

Keywords: silicon warm node screen Czochralski method, the heat capacity crucible, speed, melt gradient.

UDC 004.738.52:004.031

Information models of controlled processes for the computer network monitoring / Sayenko V., Grytsenko O. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014.-№ 48 (1090).- P.55-66. Im.: 4. Bibliogr.: 12. ISSN 2079-5459

Two information models of controlled computer network processes are set forth. The models are to be used in tasks of controlled processes approximation for decreasing network monitoring data overhead. The main purpose is to describe controlled processes mathematically in order to have possibility to choose more precise approximation models for them. Therefore parameters of the models consist of numerical and analytical descriptions of the controlled processes. Special evaluating rules have been outlined for them. The practical part of the work describes the models evaluating example in the context of WMI. Despite using WMI concepts the models can be evaluated in the context of other network monitoring technologies, such as SNMP, JMX etc.

Keywords: network, monitoring, WMI, CIM, approximation, stochastic process, information model.

UDC 004.922, UDC 623.438.3.001.85

Comparative analysis of projections for computer graphics / Kachanov P. A., Zuev A. A., Yatsenko K. N. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014.-№ 48 (1090).- P.66-73. Im.: 3. Bibliogr.: 13. ISSN 2079-5459

Linear perspective is a good approximation to the format in which the human visual system conveys 3D scene information to the brain. A perspective image represents the spatial relationships of objects in a scene as they appear from a single viewpoint. The widely used rectilinear perspective projection cannot render realistic looking flat views with fields of view much wider than 60 degrees. The article provides an overview of the projections used in visualization systems. The comparison of the linear perspective, perceptual perspective and projections Panini is made. The mathematical model of projective transformations is presented. The main advantages and disadvantages of projections for creation a three-dimensional scene images on the plane is also described. The information about human spatial perception of real world is provided. Conclusions refer to practical application of projective transformations in computer graphics is discussed, as well as the possibility of realization.

Keywords: linear perspective, perception perspective, Pannini projection, veduta, Rauschenbach, wide field of view.

UDC 621.3.078

Electromechanical systems with vector-controlled induction electrical drive under uncertainty of mathematical model / Ostroverkhov M., Buryk M. // Bulletin of NTU “KhPI”.

Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014.-№ 48 (1090).- P.73-79. Im.: 1. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

A method of control of electromechanical systems, providing a low sensitivity to changes in the parameters of the control object and its dynamic decomposition is presented. The control laws of a induction motor are developed based on a conception of reverse task of dynamics in combination with minimization of local functionals of instantaneous values of energies. The proposed method is based on an idea of the reversibility of the Lyapunov direct method for the stability analysis, which allows determining control laws in case a closed loop has the predetermined Lyapunov function. The instantaneous value of energy is used as the Lyapunov function. The specificity of optimization is not obtaining the absolute minimum of the quality functional, as usually used in traditional systems, but rather getting a certain minimal value which would assure a technically allowable dynamic error of the system. This allows a dynamic decomposition of an interrelated system by independent closed loops, as well as a lesser sensitivity to variation of the motor's parameters. The simplicity of realization of control laws is caused by the absence operation of differentiation.

Keywords: electromechanics, electrodrive, system, regulation, parameters, variation, functional, quality.

UDC 656.96:330.123.6

Grounding of market strategy in the work of a freight forwarder company / V. V. Ocheretna // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014.-№ 48 (1090).- P.79-85. Im.: 1. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

The article market strategy of a freight forwarder company is considered as a object of management, understanding of her internal intercommunications and mechanisms of functioning. Integral open system of company is grounded with a certain internals. And the level of organization of processes is similarly examined, quality is their implementations, influencing on eventual consumer properties of a freight forwarder service, that in turn is straight related to the competitiveness of service.

On the whole consumer properties of the service got on an exit and accordingly competitiveness of company depend on quality of resources and execution of processes. Companies, that today will be able to reduce perspective market niches and concentrate the activity on them, guess the changes of market demand and adapt under them the internal possibilities able one of the first to volunteer service to the market, with such descriptions for that a consumer is ready expensive to pay, in the future will occupy leading position.

Keywords: freight forwarder company, market strategy, competitiveness, resources, transportation, service, consolidation.

UDC 004.32; 004.48; 004.45; 004.82

Study of features of organization sso. Part 2: Organization of a single access subnet / Zelencova Zh. Ju., Jona E. O. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2014.-№ 48 (1090).- P.85-91. Im.: 1. Bibliogr.: 13. ISSN 2079-5459

It is proposed technological solution to authenticate users when they access to multi-service systems. It is shown that the solution can reduce the amount of applied adaptive (intelligent) techniques process IAM in modern IT platforms. Attention is drawn to the fact that the proposed approach is relevant for solving the problem of hyper-connections in the subnets, which are characterized by large amounts of data, devices and users. It is noted that the decision is consistent with trends empowerment IAM, does not contradict them, and can be coordinated with the existing technological standards. Proposals to create a model system to identify and provide access to the SSO. It is shown that the model can be adapted to the characteristics of modern service structures. Consider the possibility of providing digital functions of the state in the online segment. It is noted that these functions belong to the identification and authentication of users when they access to public cloud structures. A model is proposed to identify and provide access to the service subnets "cloud" type SSO due to "cross-cutting" calculations using adaptive identification techniques. The model can be used to

provide SSO. Taken into account that subnet are a special case of a broader class of systems as converged infrastructure means "seamless" architecture.

Keywords: SSO, providing access, Single Sign-On, iGenotype, e-passport.

UDC 631.22

Software and information system of optimization of microclimate in the workplace / Strokan O. V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.91-96. Im.: 4. Bibliogr.: 11. ISSN 2079-5459

The software and information system of optimization of microclimate at industrial premise is considered in this article. The main task of system is the edition of the recommendations on the number of installed aeroionizators in a given location and provision of standardized indicators of microclimate parameters of the working space - temperature and the concentration of negative ions. The purpose system completed on the basis of software. Given the scope of the decision problem for the development of software and information systems of optimization of microclimate in the workplace the selected language Assembler environment CodeVisionAVR. Information window of system user has a convenient and simple interface. Using the information window, the user has the opportunity to observe the current value of the temperature and concentration of negative ions in industrial premises.

Keywords: microclimate, software, temperature, aeroengine mode, aeroionizator, control action, system.

UDC 620.2:684.433.3

Optimization of parameters of new structural element to increase resistance of upholstery fabrics to abrasion / Sorokina S., Akmen V., Afanasieva V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.96-102. Im.: 2. Bibliogr.: 13. ISSN 2079-5459

Because, in spite of modern developments, there is the problem of rapid wear and tear of upholstery fabrics, especially during the frequent operation of sofas to sleep on, current studies are aimed at reducing the burden of friction during this period. The paper proposed the use of a new structural element for upholstered furniture, namely, sofas, in order to reduce the load friction on the fabric covering. To optimize the size and mass of structural element mathematical computer modeling. The process of building a mathematical model of the problem was carried out in three stages using the methods of correlation and regression analysis to measure the closeness of connections indicators. After analysis of trends between him and comparison with experimental data was selected trend that best approximates the experimental data. In accordance with the obtained data was selected the most efficient weight value of the new element, which is 4.7 kg with the density of the material used - 252 kg/m³ and dimensions 55*241*18 see Shows that when using a material with higher density is a significant increase in the mass of the structural element.

Keywords: sofa, furniture fabric, parameter optimization, cloak-shell, resistance to friction.

UDC 519.872

Modeling of the $GI/GC/0/L/G$ system by Monte-Carlo method / Pustova S. V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.102-109. Im.: 2. Bibliogr.: 13. ISSN 2079-5459

The article adresses research on retrial queueing systems. Queueing systems constitute a central tool in modelling and performance analysis of e.g. telecommunication systems and computer systems. Often the systems are complex (for instance, communication network, operating system) and contains many queues, which form a network of queues, i.e. a queueing network. The author considers a multichannel retrial queueing system $GI/GC/0/L/G$ (with C channels, generilised input flow, general service times, general orbit's sojourn times, and orbit of capacity of L) in the article. Distribution functions of intervals between moments of calls' arrival, service and sojourn times of retrials are of general form. Such systems as $GI/GC/0/L/G$ can be represented as a set of Kolmogorov equations (an analytical model). It is very hard and sometimes impossible to obtain

explicit formulas when trying to solve such set of equations, especially when it comes to general distribution times. That is why an algorithm of statistical modeling of $G/I/G/c/0/L//G$ system is introduced in order to estimate stationary average number of demands in the system. Graphical results are given.

Keywords: queueing theory, statistical modeling, retrieval queueing systems, retrieval demands, retrials, queueing systems.

UDC 614.84:534.014.1

Mathematical model of load's oscillations during rotation of the crane as safety equipment / Yanchik A., Gradysky Y. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New decisions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.109-115. Im.: 3. Bibliogr.: 11. ISSN 2079-5459

In the article was considered a settlement scheme of crane system with two degrees of freedom in terms of uniform and nonuniform not uniformly accelerated rotation. The study of the influence of centered forces fluctuations of cargo, while formulated and proposed a mathematical model that is part of a generalized model of the crane. Set the zone of non-hazardous amplitudes and safe operation of such valves with position exception of violations of safety rules by using jib systems. Proposed to bring changes to the processing maps loading-unloading works with the aim of improving safety equipment.

Keywords: lifting-transport machines, safety equipment, uniform rotation, nonuniform not uniformly accelerated rotation

UDC 656.212

Perspectives of decision support systems in the organization of wagonflows / A. A. Mazurenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New decisions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.115-121. Im.: 2. Bibliogr.: 16. ISSN 2079-5459

Improvement of the system organizations of wagonflows is a perspective direction to improve the efficiency of railway transport in the modern conditions of operation. One of the most effective methods of improvement is the application of operative management of the organization of wagonflows using the making two-unit trains. But the evaluation of the current situation at the station and decision to interventions in the process train making depends only on the subjective assessment of the operative personnel. When it is necessary to execute considerable amount of calculations in operative situations make it practically impossible. From here there is problem of developing decision support system, which helped to to operative personnel in the reception of based of the economically and the rational decisions in a short period of time.

The possibility of developing a decision support system for operative management of the organization of wagonflows. This system must be based on the existing automated systems, to use their information base. Additionally the decision support system should measure any all possible options with the help simulation modeling and propose a rational decision considering all influencing factors

Keywords: wagonflows, two-unit train, simulation model, a decision support system

UDC 621.327

Simulation of uv radiation bactericidal disinfection of water / Semenov A., Sakhno T., Kobischan A. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New decisions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.122-128. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

The results of modeling physical nonchemical methods of bactericidal water disinfection UV irradiation. Discussed principles of light in water. The following dependence of radiation intensity on the coefficient of permeability. On the basis of the research proposed hydrodynamic model that makes it possible to calculate the effective dose bactericidal disinfection. The proposed model takes into account the sensitivity of microorganisms to UV rays, especially construction. Model at the design stage of UV devices into account patterns of penetration of UV radiation in water. The main advantage of this approach is to take into account the number of bacteria after disinfection and

decontamination. The apparent size of an estimation of efficiency is the consideration of the sensitivity of bacteria to UV radiation, which depends on the power of UV disinfection and time.

Keywords: UV - radiation dose germicidal disinfection, inactivation of microorganisms, the hydrodynamic model.

UDC 661.961.1

Application of irreversible thermodynamics for the description of regularities of hydrogen evolution from the interaction of aluminum alloys with water / Dobritzkaya N., Troshenkin V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New decisions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.128-139. Bibliogr.: 35. ISSN 2079-5459

The paper analyzes the advantages and disadvantages of the methods of irreversible thermodynamics and diffusion kinetics, describing regularities of hydrogen evolution from the interaction between aluminum alloys with water.

It was shown that the presentation rate of hydrogen evolution as a function of the difference in oxidant concentration in the stream and on the alloy surface is unreasonable.

The chemical potential of sufficient magnitude can overcome the resistance of reaction by the diffusion of the oxidant to the interface through the oxide layer, oxidant chemisorption and activation of alloy atoms. It is this fact that explains the spontaneous reaction spread deep into the alloy particles.

To meet the balance of the parish and the heat removal the rate of hydrogen evolution should be determined in two steps. The first step is to estimate the rate of heat transfer and on it to find the volume of generated hydrogen per unit time. In the second stage, the same rate is calculated depending on the available chemical potential, taking into account the transport, adsorption and diffusion resistances.

When calculating the first stage must be considered both longitudinal and transverse flows in the lift channel of the reactor.

In turn, the calculation of the rate of hydrogen evolution on the second stage should be based on the chemical potential, referred to the number of surface layers of aluminum alloy. Permissible difference of the material balance should not exceed 10 - 15%.

Keywords: thermodynamics, the rate of evolution of hydrogen, aluminum alloys, the completeness of the reaction, the chemical potential.

UDC 541.127: 542.943

Research of reaction of the ozone with methylphenylcarbinol in the acetic acid / Bushuev A., Kolbasiuk A., Galstyan G. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New decisions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.139-148. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

The reaction of ozone with methylphenylcarbinol who is intermediate in ethylbenzene oxidation reaction was researched. It is shown that at 15oC ozone reacts predominantly by side chain to form acetophenone (95%) and only about 5% of methylphenylcarbinol destroyed by the aromatic ring. In result increasing temperature oxidation process selectivity to acetophenone is reduced, due to its oxidation to benzoic acid, benzene ring remains intact under these conditions. Benzoic acid in the experiments is rather stable substance and therefore it the final product in the cycle transformations of ethylbenzene. Oxidation of methylphenylcarbinol in terms of the experiments passes as a non-chain radical reaction. Variation of ozone concentration in the gas mixture has almost no effect on the yield of acetophenone. Defined effective constants of reactions of ozone with methylphenylcarbinol and its oxidation products. Received the microkinetics of the process, proposed scheme of chemical transformations, which satisfactorily explains the obtained experimental data.

Keywords: ozone, oxidation, methylphenylcarbinol, acetophenone, benzoic acid, acetic acid, effective constant.

Research thermotropic reconstructions of hemoglobin / Pih L., Timchenko N., Novikova V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.148-153. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

The researches of spectroscopic characteristics of hemoglobin in the range of temperatures +5-+38oC are conducted. Temperature ranges at which there is a change of conformation of protein and of the different forms of hemoglobin contents are considered. At temperature increase in erythrocytes and in hemolysate the tendency to reduction of the oxyhemoglobin contents and to increase of the deoxy- and methemoglobin contents are observed, in a hemolysate this tendency is more expressed, apparently, it is connected with existence of the destroyed membrances of erythrocytes in a hemolysate. Transition process of oxyhemoglobin in deoxy- and methemoglobin is well expressed at temperatures over +30oC for suspension of the erythrocytes, higher than +20oC for a hemolysate and after +30-+35oC for hemoglobin. At temperature increase oxyhemoglobin in erythrocytes and in hemolysate passes in deoxy- and methemoglobin, and in a hemolysate it generally passes in methemoglobin. Change of different forms of hemoglobin contents about +30oC is connected with conformational changes of protein part of hemoglobin. At temperatures about +10oC and +30oC the intensity of light scattering of a globin changes and at the same temperatures changes the intensity of maximum of the first derivative of absorption spectra of a globin. In hemoglobin at temperatures above +30-+35oC there is reduce oxyhemoglobin contents and increase deoxy- and methemoglobin contents. Besides, in hemoglobin during heating the oxyhemoglobin quantity changes a little, and in erythrocytes and in hemolysate (where there are membranes of erythrocytes), transition of oxyhemoglobin in deoxy- and methemoglobin is observed. It means that membranes of erythrocytes are decisive factor for transition of oxyhemoglobin in deoxy- and methemoglobin.

Keywords: spectrophotometry, erythrocytes, hemoglobin, globin, first derivative of absorption spectra, conformation, temperature, termotropic changes.

The analysis of conceptual principles of "hurdle" technology / Bal-Prylypko L., Leonova B. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.154-161. Im. : 2. Bibliogr.: 10. ISSN 2079-5459

This paper presents an analytical overview of conceptual principles of "barrier" technology, evaluated the prospects for their practical implementation, covers the basic principles of optimal combination of "barriers" to create synergies, to use the fundamental basis for the development of modern innovative technologies of high-quality and safe meat products, determined that the the basic principles of "hurdles" can be easily implemented in the the already existing technological processes of meat products production. The basic concept, from the viewpoint of this theory is the "homeostasis", which refers to the internal equilibrium state of microbial cells, the violation of which prevents it from multiplying. The most effective additional "hurdles" include: careful selection of raw materials, the balance the recipe (including the quality of water for technological purposes); using bacteriostatic additives and starter cultures, antioxidants and their synergists; type of cassings; duration and combination modes of heat treatment; vacuum packaging or modified atmosphere; pasteurization; treatment of high pressure. Modern requirements for the production and sales of meat products provide the use of " hurdle " technology for ensuring high quality of generated products and the maximum extension shelf life due to complex applying different technological methods consistent action is directed to improve microbiological stability of meat products.

Keywords: quality, safety, "hurdle" technology, meat products, factors, principles, theory, conservation, contamination.

Using of new fat ingredients for bakery production / Kalyna V., Mykolenko S., Lytsenko M. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014.-№ 48 (1090).- P.161-168. Im. : 2. Bibliogr.: 12. ISSN 2079-5459

It has been shown results of usage off at ingredients (crude and refined oil fatty coriander) for bakery production. Depending on the characteristics of the finished products from different content off at ingredients was described. According to a numericals core the using of crude and refined fatty coriander oil in bakery technology affects on the organoleptic characteristics off in is hed products and rheological properties of the crumb. Physico-chemical parameters of bakery products (moisture, acidity, porosity) has been identified by standard methods. On the basis of this facts, as well same organoleptic and expert evaluations of samples of bakery products can be recommended for inclusion in the formulation of production 5% refined oil fatty coriander. This improves the taste, color and aroma of the finished baking, improving its physical and chemical characteristics. The same should be to recommend the use in the formulations of bakery products is refined oil fatty coriander that enriches finished products in un saturated fatty acid sand makes a variety of daily human diet.

Keywords: bakery products, fatty oil coriander un refined and refined, fatty acids.

ЗМІСТ

Митцель Н. А.. Датчик крутящего момента	3
Сиротюк А. М., Барна Р. А., Лещак Р. Л. Вплив концентрації водню в металі на тріщиностійкість трубопроводів ТЕС	9
Костик К. О., Костик В. О. Порівняльний аналіз впливу газового та іонно-плазмового азотування на зміну структури і властивостей легованої сталі 30Х3ВА	21
Терещенко Ю. М., Дорошенко Е. В.. Методика расчета характеристик осевого компрессора на срывных режимах	41
Червоний И. Ф., Голев Е. А. оптимизация тепловых условий выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского	48
Саенко В. И., Гриценко А. И. Информационные модели наблюдаемых процессов для мониторинга компьютерных сетей	55
Качанов П. А., Зуев А. А., Яценко К. Н. Сравнительный анализ проекций для компьютерной графики	66
Островерхов Н. Я., Бурик Н. П. Электромеханическая система с векторно-управляемым асинхронным электроприводом в условиях неопределенности математической модели	73
Очеретна В. В. Обґрунтування ринкової стратегії в роботі транспортно-експедиторської компанії	79
Зеленцова Ж. Ю., Йона Е. О. Исследование особенностей организации систем единого входа. Часть 2: Организация единого доступа в подсети	85
Строкань О. В. Програмно-інформаційна система оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні	91
Сорокіна С. В., Акмен В. О., Афанасьєва В. А. Оптимізація параметрів нового конструктивного елемента з метою підвищення стійкості меблевих тканин до тертя	96
Пустова С. В. Моделювання системи $G / G / c / 0 / L // G$ методом Монте-Карло	102
Янчик О. Г., Градиський Ю. О. Математична модель коливань вантажу при повороті крана як безпека устаткування	109

Мазуренко О. О. Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень в організації вагонопотоків	115
Семенов А. О., Сахно Т. В., Кобищан Г. Д. Моделювання УФ- випромінювання при бактерицидному знезараженні води	122
Добрицкая Н. Ф., Трошенкин В. Б. Применение методов термодинамики необратимых процессов для описания закономерностей выделения водорода в реакциях взаимодействия алюминиевых сплавов с водой	128
Бушуєв А. С., Колбасюк О. О., Галстян Г. А. Дослідження реакції озону з метилфенілкарбінолом в оцтовій кислоті	139
Пих Л. А., Тимченко Н. Н., Новикова В. Е. Исследование термотропных перестроек гемоглобина	148
Баль-Прилипко Л. В., Леонова Б. І. Аналіз концептуальних принципів «бар'єрних» технологій	154
Калина В. С., Мыколенко С. Ю., Луценко М. В. Использование новых жировых ингредиентов в производстве хлебобулочных изделий	161
Реферати	169
Рефераты	175
Abstracts	181

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Нові рішення в сучасних технологіях

№ 48(1090)

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор к.т.н., доц. К. О. Костик

Відповідальний за випуск: к.т.н. І. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: eklitus@yandex.ru

Обл.-вид. № 87-14

Підп. до друку «03» листопада 2014р. Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк
офсетний. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,0. Облік.вид.арк. 10,0.
Наклад 300 прим. Зам. № . 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

Центр оперативної поліграфії ТОВ «Тім Пабліш Груп»
Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи
ДК № 4252 від 29.12.2011 р.
61035, Харків, пр-т Гагаріна, 129
