

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

ВІСНИК

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 50(956)2012

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2012

Вісник Національного технічного університету "ХПІ"

Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ» – 2012р. - №50(956) – 172 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. (Бюлєтень 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. Грабчеснко, 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. Єспіфанов, канд. техн. наук проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;

П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.;

С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; В. С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.;

О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва,

д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В.

Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф., Ю. В. Тимофієв, д-р

техн. наук, проф., М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

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

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

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

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

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

Рекомендовано до друку вченого радиою НТУ „ХПІ”

Протокол №:8 від « 30 » жовтня 2012 р.

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

**ГЛАВА 9. ОСНОВЫ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА
НЕПРЕРЫВНЫХ ПОТОКАХ. ВЫВОД ФОРМУЛ ТЯГИ, ПОЛЕТНОГО
(ТАГОВОГО) КПД, ТЕОРЕМЫ О ПОДЪЕМНОЙ СИЛЕ
ПРОДУВАЕМОГО ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОФИЛЯ ЕДИЧНОГО
РАЗМАХА, КАК ДВИЖИТЕЛЯ НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПОТОКАХ
(КРАТКАЯ ТЕОРИЯ КРЫЛА САМОЛЕТА)**

Рассматриваются недостатки современной теории воздушно-реактивных двигателей, связанные с ошибочной теоремой о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912г. Из.: 2. Библиогр.: 4 назв

Ключевые слова: кинематический анализ, тяга продуваемого профиля, теорема о подъемной силе

Введение. Постановка проблемы

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

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

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

Например, такие узловые физические явления, имеющие место при работе ВРД, как процесс генерирования тяги, полетный (тяговый) КПД, подъемная сила продуваемого профиля, трактовка процесса генерирования отрывных течений, [3], с.114, которая поставила конструкторов в тупиковое положение, поскольку устраниТЬ генерирование неустойчивой работы ВРД, помпажа, согласно существующей трактовке, невозможно, и многие другие физические явления описаны в современной теории воздушно-реактивных двигателей ошибочно.

Все это привело к тому, что выпускники авиационных ВУЗов, будущие конструкторы авиадвигателей, покидают его стены, не имея ни малейшего понятия ни

© Б. Ш. МАМЕДОВ, 2012

о правильном теоретическом и физическом представлении о таком фундаментальном понятии, как процесс генерирования тяги ВРД, ни о правильном полетном (тяговом) КПД ВРД, ни о правильной теореме о подъемной силе продуваемого профиля, ни о кинематическом анализе, ни о зонах заторможенного потока, ни о многом другом.

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

Все это говорит о том, что современная теория воздушно-реактивных двигателей, в основу которой заложены ошибочные формулы тяги, полетного (тягового) КПД, выведенные академиком Б.С.Стечкиным в 1929г., и такая же ошибочная теорема о подъемной силе продуваемого профиля, выведенная профессором Н.Е.Жуковским в 1912г., задержала технический прогресс в области авиадвигателестроения более, чем на 80 лет.

Поэтому перед уже созданной единой теорией движителей на непрерывных потоках стояла проблема создания правильной теории воздушно-реактивных двигателей, в которой проведена тесная связь между теорией и экспериментом, которая повысит безопасность полетов путем повышения газодинамической устойчивости работы ВРД на любых режимах полета, которая разработает правильные направления технического прогресса в области авиадвигателестроения, позволяющие достичь неограниченных скоростей полета, и которая полностью заменит существующую в авиационных ВУЗах.

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

Известно, что если продуваемый газовый поток отклоняется от продуваемой поверхности на угол атаки i , превышающий $5-7^\circ$, то имеет место отрыв потока, [3], с.114-116. На рис 1 представлен изолированный профиль единичного размаха, который продувается набегающим газовым потоком. Из-за различных геометрических характеристик изолированного профиля по спинке и по корыту продуваемый газовый поток по спинке в зоне В-С ускоряется, дополнительное действие центробежных сил при этом способствует уменьшению статического давления продуваемого газового потока в сечении С-С, рис.1б, поз.1, которое является выходным сечением зоны отрыва газового потока, как движителя на непрерывных потоках.

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

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

С позиции уже созданной единой теории движителей на непрерывных потоках мы рассматриваем зону отрыва продуваемого газового потока от спинки продуваемого профиля как зону, в которой в сечении С-С, рис.1, генерируется

глубокий вакуум, при этом зона отрыва потока Н-С-Н может работать в двух режимах:

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

$$R = P_{H_{cp}} F_{H_{cp}} - P_c F_c , \quad (1)$$

$$R = P_H F_{H_{np}} - P_c F_c \quad (2)$$

Полетный (тяговый) КПД при этом рассчитывается по формуле:

$$\eta_n = \left(1 - \frac{P_c F_c}{P_{H_{cp}} F_{H_{cp}}} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

Вывод формул (1), (2), (3) аналогичен выводу формул тяги, полетного (тягового) КПД для турбореактивных двигателей, [1], с.18-19, рис.1.

При работе отрывной зоны Н-С-Н в режиме вакуумирования в обязательном порядке генерируется вектор скорости инжектируемого газового потока, рис.1, поз.3. Именно этот вектор наблюдал в интерференционном свете в 1912 г. профессор Н.Е.Жуковский при продувке как изолированных профилей, так и решеток. Именно этот вектор инжектируемого газового потока, рис.1, поз.3, профессор Н.Е.Жуковский, не разобравшись с физической сущностью его генерирования, отождествил с циркуляцией продуваемого газового потока вокруг продуваемого профиля, назвав это явление "присоединенным вихрем". Профессор Н.Е.Жуковский характеризовал явление "присоединенного вихря" как открытие, как газодинамическую закономерность, свойственную любому продуваемому профилю, и заложил это ошибочное понятие во многие свои теоретические, глубоко ошибочные, статьи.

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

Необходимо отметить, что если углы атаки i не превышают 5-7°, то отрывная зона Н-С-Н не генерируется и продуваемый газовый поток обтекает спинку продуваемого профиля ламинарно, при этом инжектируемый газовый поток, рис.1, поз.3, полностью отсутствует. Поэтому существующее в современной теории воздушно-реактивных двигателей утверждение о том, что в контрольной поверхности abcd, [4], с.55, рис.2., векторы скоростей по линиям тока ab и cd равны и противоположно направлены, [4], с.54, является прямым нарушением всех законов механики истечения жидкостей и газов, поскольку скорости продуваемого газового потока по линиям тока ab и cd всегда равны и имеют одинаковое направление, а теорему о подъемной силе продуваемого профиля необходимо выводить другим путем.

В режиме генерирования ударных волн. Профессор Н.Е.Жуковский в 1912 г. оперировал низкими скоростями продуваемого газового потока, поэтому инжектируемый вектор газового потока, рис.1, поз.3, существовал постоянно, поскольку разворот инжектируемого газового потока поз.3 до совпадения с потоком поз.4 осуществлялся плавно, без резкого повышения статического давления в зоне L-C.

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

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

$$\Gamma = t \cdot \Delta w_u, [4], с.54, с.55, \text{рис.2.25}, \quad (4)$$

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

$$P = \rho \omega_{\infty} \Gamma, \quad (5)$$

выведенной им в его "знатнейших (по своей ошибочности – авт.) статьях по вихревой теории гребного винта", [4], с.55, где t – расстояние между продуваемыми профилями в решетке, [4], с.55, рис.2.24, Δw_u – закрутка продуваемого газового потока по корыту продуваемого профиля [4], с.55, рис.2.25, ρ – плотность продуваемого газового потока, ω_{∞} – скорость продуваемого газового потока в бесконечности (перед и за профилем одинаковы), [4], с.53.

Проанализируем теорему о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г. в его статье "Вихревая теория гребного

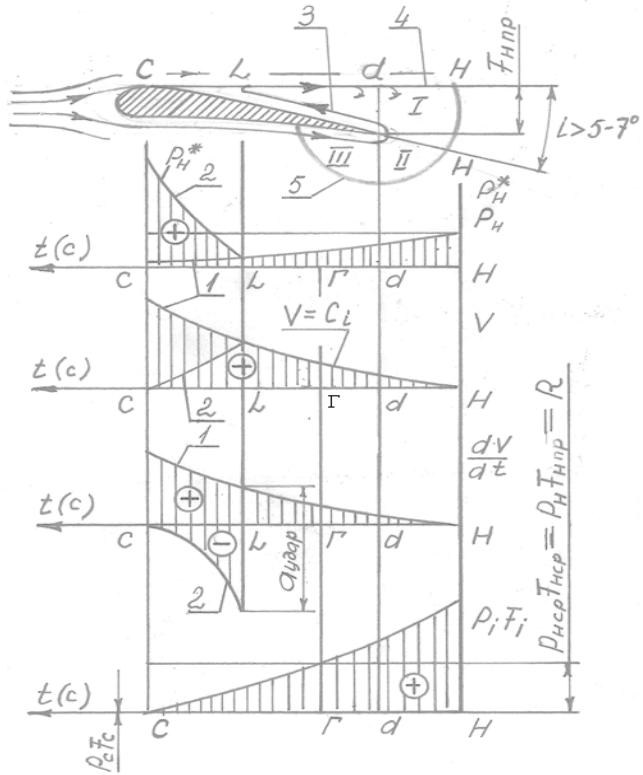


Рис.1. Кинематический анализ изменения статических давлений, осевых скоростей первичных движущих сил от изменения статических давлений в зоне отрыва продуваемого газового потока H-C-H от спинки продуваемого профиля для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД зоны отрыва H-C-H, как движителя на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

профиля (изолированный профиль, или в решетке профилей) имеет место вращение (циркуляция) продуваемого газового потока вокруг профиля. На этом основании профессор Н.Е.Жуковский вводит ошибочное понятие циркуляции продуваемого газового потока относительно продуваемого профиля

$$\Gamma = t \cdot \Delta w_u, [4], с.54, с.55, \text{рис.2.25}, \quad (4)$$

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

$$P = \rho \omega_{\infty} \Gamma, \quad (5)$$

выведенной им в его "знатнейших (по своей ошибочности – авт.) статьях по вихревой теории гребного винта", [4], с.55, где t – расстояние между продуваемыми профилями в решетке, [4], с.55, рис.2.24, Δw_u – закрутка продуваемого газового потока по корыту продуваемого профиля [4], с.55, рис.2.25, ρ – плотность продуваемого газового потока, ω_{∞} – скорость продуваемого газового потока в бесконечности (перед и за профилем одинаковы), [4], с.53.

Проанализируем теорему о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г. в его статье "Вихревая теория гребного

винта", на предмет ее соответствия экспериментальным данным современной теории воздушно-реактивных двигателей.

Согласно теореме о подъемной силе продуваемого профиля, формула (5), максимальное давление продуваемого газового потока на корытце продуваемого профиля находится там, где циркуляция ($t \cdot \Delta w_u$) максимальна, т.е. на выходной кромке продуваемого профиля, а нулевое давление продуваемого газового потока на корытце продуваемого профиля находится там, где циркуляция ($t \cdot \Delta w_u$) равна нулю, т.е. на входной кромке продуваемого профиля, поскольку на входной кромке $\Delta w_u = 0$, т.е. эпюра давлений по корытцу продуваемого профиля, согласно Н.Е.Жуковскому, имеет максимальное значение на выходной кромке продуваемого профиля и нулевое значение на входной кромке продуваемого профиля, формируя, таким образом, градиент давлений, направленный против потока, что противоречит всем законам механики истечения жидкостей и газов и экспериментальная часть современной теории ВРД четко это подтверждает, она гласит, что максимальное давление продуваемого газового потока на корытце продуваемого профиля находится в зоне входной кромки и это давление постепенно уменьшается по мере перемещения продуваемого газового потока к выходной кромке продуваемого профиля, формируя, таким образом, градиент давлений, направленный по потоку, [4], с.68, рис.3.3, что соответствует всем законам механики истечения жидкостей и газов.

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

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

Вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках

В качестве продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках, выберем профиль крыла тяжелого бомбардировщика времен Второй мировой войны, который даже при малых скоростях полета генерировал подъемную силу, рис.2.

При полете со скоростью V_n перед продуваемым изолированным профилем единичного размаха всегда генерируется зона заторможенного потока, рис.2, поз.1, со статическим давлением P_h^* , одинаковой для всего объема. Площадь зоны заторможенного потока регламентируется лобовой площадью F_{Hpr} и длиной продуваемого профиля крыла. Статическое давление P_h^* в каждой точке поверхности зоны заторможенного потока, поз.1, поддерживается статическим и динамическим давлением набегающего потока воздуха, который по сечению К-К сжимается до P_h^* .

От сечения К-К часть набегающего потока, суммарной площадью $F_{\text{Нпр}}$, обтекает спинку продуваемого профиля, а вторая часть, равная первой, обтекает корытце продуваемого профиля. Траектории движения этих двух потоков, обтекающих спинку и корытце продуваемого профиля, различны, что обуславливает различную кинематику этих потоков, дополнительно характеризуемых уравнением непрерывности струи, т.е. в каждом вертикальном сечении расходы этих двух потоков одинаковы. Поскольку длина траектории движения потока, обтекающего спинку продуваемого профиля, превосходит длину траектории движения потока, обтекающего корытце продуваемого профиля, то верхний поток в зоне К-С претерпевает большее ускорение, чем нижний поток в этой же зоне. Поэтому статическое давление продуваемого газового потока, обтекающего спинку продуваемого профиля, существенно ниже аналогичного для потока, обтекающего корытце продуваемого профиля, рис.2в.

Неотъемлемым условием

правильной работы продуваемого изолированного профиля единичного размаха является равенство статических давлений и осевых скоростей продуваемого газового потока на выходной кромке продуваемого профиля, сечение С-С, т.е. верхний поток, обтекающий спинку продуваемого профиля, должен затормозиться до W_{2c} , а нижний поток, обтекающий корытце продуваемого профиля, должен ускориться до W_{2k} , при этом

$$W_{2c} = W_{2k} \quad (6)$$

Если не будет обеспечено равенство относительных осевых скоростей согласно условия (6), то на выходной кромке продуваемого профиля будет иметь место закрутка продуваемого газового потока, что неизбежно приведет к снижению КПД крыла, к снижению безопасности полетов.

На современном этапе развития теории крыла специалисты абсолютно не обращают внимание на теорему о подъемной силе продуваемого профиля, формула (5), профессора Н.Е.Жуковского, объясняя подъемную силу крыла увеличением осевой скорости продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля по сравнению с аналогичной по корытцу продуваемого профиля, что приводит к появлению разности статических давлений продуваемого газового потока по корытцу и по спинке продуваемого профиля, что и является основой генерирования

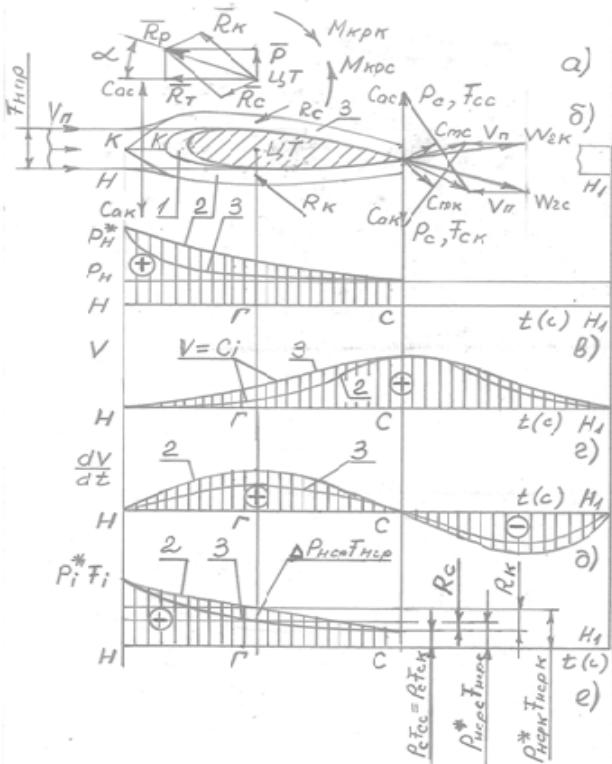


Рис.2. Кинематический анализ характера изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений, первичных движущих сил от изменения статических давлений продуваемого газового потока для ввода формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках

подъемной силы продуваемым профилем. Такое физическое представление о подъемной силе продуваемого профиля является неполным и неточным, поскольку отсутствует связь между подъемной силой и тягой, генерируемой продуваемым изолированным профилем единичного размаха, как движителем на непрерывных потоках.

Выбор контрольного контура

Продуваемые газовые потоки по спинке и по корытцу продуваемого профиля от сечения К-К до сечения С-С представляют собой реактивные сопла, в которых генерируется соответствующая тяга, вектор действия которой всегда направлен противоположно среднему вектору C_m скоростей газового потока на входе и выходе из этих реактивных сопел. Поскольку газодинамические параметры (давление, скорость) продуваемого газового потока на входе и выходе из этих реактивных сопел одинаковы, то будет одинаков и контрольный контур, который мы выбираем для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД и теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках.

В качестве контрольного контура выбираем зону Н-Н₁, рис.2, где Н – зона невозмущенного потока, начало ускоренного движения частиц продуваемого газового потока; Н₁ – зона невозмущенного потока, конец ускоренного движения частиц продуваемого газового потока. Расход продуваемого газового потока через движитель (продуваемый изолированный профиль единичного размаха) регламентируется его лобовой площадью, F_{Hpp} , плотностью воздуха и скоростью полета V_p . Контрольный контур начинается с сечения К-К, в котором скорость входа продуваемого газового потока, C_a , всегда направлена перпендикулярно этому сечению. Отклонение вектора C_a от вертикального положения в сторону движения потока генерирует осевую скорость продуваемого газового потока в реактивных соплах по спинке и по корытцу продуваемого профиля.

На рис.2 представлен кинематический анализ характера изменения статического давления, осевых скоростей, ускорений, первичных движущих сил от изменения статического давления продуваемого газового потока для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках.

На рис.2а представлено векторное сложение двух тяг, генерируемых по спинке продуваемого профиля, R_c , и по корытцу продуваемого профиля, R_k , дающих результирующую тягу продуваемого профиля R_p , которая, в свою очередь, раскладывается на горизонтальную тягу R_t , и подъемную силу P .

На рис.2б представлен характер обтекания профиля крыла тяжелого бомбардировщика продуваемым газовым потоком, который сжимается в сечении К-К до P_h^* , разделяется на два потока, обтекающих продуваемый профиль по спинке и по корытцу, формируя, таким образом, два реактивных сопла, у которых в зоне К-С имеет место расширение сжатого в сечении К-К до P_h^* продуваемого газового потока, генерируя, таким образом, в каждом реактивном сопле свою тягу, которая всегда направлена противоположно среднему вектору скорости C_m .

На рис.2в представлен характер изменения статических давлений в реактивных соплах по спинке, поз.3, и по корытцу продуваемого профиля, поз.2, в пределах контрольного контура Н-Н₁.

На рис.2г представлен характер изменения осевых скоростей в реактивных соплах по спинке, поз.3, и по корытцу продуваемого профиля, поз.2, в пределах контрольного контура $H-H_1$.

На рис.2д представлен характер изменения осевых ускорений в реактивных соплах по спинке, поз.3, и по корытцу продуваемого профиля, поз.2, в пределах контрольного контура $H-H_1$.

На рис.2е представлен характер изменения первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока в реактивных соплах по спинке, поз.3, и по корытцу продуваемого профиля, поз.2, в пределах контрольного контура $H-H_1$.

Таким образом, контрольный контур $H-H_1$ для продуваемого изолированного профиля единичного размаха (профиль крыла тяжелого бомбардировщика) состоит из следующих зон: $H-K-K$ – зона сжатия набегающего газового потока до статического давления P_h^* ; $K-C$ – зона ускоренного газового потока, в которой градиент статических давлений направлен по потоку, или зона $K-C$ – это реактивное сопло, в котором генерируется тяга, как по спинке, так и по корытцу продуваемого профиля; $C-H_1$ – зона реактивной струи, в которой градиент статических давлений направлен по потоку, если $P_c > P_h$ (недорасширенный газовый поток), в которой градиент статических давлений равен нулю, если $P_c = P_h$ (нормально расширенный газовый поток), в которой градиент статических давлений направлен против потока, если $P_c < P_h$ (перерасширенный газовый поток), где P_c – статическое давление в выходном сечении $C-C$ реактивного сопла зоны $K-C$, P_h – давление окружающей среды.

Характеристика внешних сил, действующих на трубку тока в зоне $H-H_1$

К внешним силам, действующим на трубку тока в зоне $H-H_1$, относятся: 1. Первичные движущие силы от изменения статических давлений, $P_i F_i$, где P_i – статическое давление продуваемого газового потока в i -м сечении газодинамического тракта в пределах контрольного контура $H-H_1$; F_i – площадь i -го сечения газодинамического тракта в пределах контрольного контура $H-H_1$. 2. Вторичные движущие силы от изменения динамических (инерционных) сил, $m_r a_i$, где m_r – массовый секундный расход продуваемого газового потока через продуваемый профиль, a_i – ускорение газового потока в i -м сечении газодинамического тракта в пределах контрольного контура $H-H_1$. 3. Силы сопротивления, $P_c F_{cc}$, $P_c F_{ck}$, где F_{cc} – площадь выходного сечения реактивного сопла $K-C$ по спинке продуваемого профиля, F_{ck} – площадь выходного сечения реактивного сопла $K-C$ по корытцу продуваемого профиля. 4. Гравитационные силы продуваемого газового потока, при горизонтальном полете не учитываются. 5. Силы тяги R_c , R_k по спинке и корытцу продуваемого профиля, которые после векторного сложения, рис.2а, дают результирующую тягу R_p , которая, в свою очередь, раскладывается на горизонтальную тягу R_t и подъемную силу P .

Силы трения продуваемого газового потока о поверхность продуваемого профиля не учитываем.

Кинематический анализ характера изменения статических давления, осевых скоростей, ускорений, первичных движущих сил от изменения статических давлений продуваемого газового потока для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого

изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках

Кинематический анализ для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках, проводится впервые.

Кинематический анализ, представленный на рис.2 показывает, что при набегании со скоростью V_{π} продуваемого газового потока на продуваемый профиль крыла самолета перед последним всегда генерируется зона заторможенного потока, рис.2б, поз.1, со статическим давлением P_h^* .

Зона заторможенного потока – это физическое явление, которое имеет место перед любым движущимся предметом в любой окружающей среде, например, известно генерирование зоны заторможенного потока перед воздухозаборником воздушно-реактивного двигателя (ВРД), [3], с.82.

Генерирование зоны заторможенного потока, рис.2б, поз.1, регламентируется лобовой площадью продуваемого профиля, $F_{H_{np}}$, которая, в свою очередь, регламентирует массовый расход продуваемого газового потока, прошедшего через движитель:

$$m_r = \rho \cdot F_{H_{np}} \cdot V_{\pi}, \quad (7)$$

где ρ – плотность продуваемого газового потока, набегающего на продуваемый профиль.

Набегающий на зону заторможенного потока, рис.2б, поз.1, продуваемый газовый поток претерпевает сжатие до P_h^* только по сечению К-К, в любом другом сечении, параллельном К-К, продуваемый газовый поток сжимается до меньших значений, но при этом продуваемый газовый поток ускоряется. Совместное действие текущего статического давления заторможенного продуваемого газового потока и его кинетической энергии поддерживает параболическую форму зоны заторможенного потока, рис.2б, поз.1, со статическим давлением P_h^* по всей параболической поверхности последней.

Таким образом, продуваемый газовый поток сечением К-К разделяется на два равных потока, обтекающих спинку и корытце продуваемого профиля. Поскольку траектория движения продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля длиннее аналогичной по корытцу продуваемого профиля, а уравнение непрерывности струи остается в силе, то осевая скорость продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля будет выше аналогичной по корытцу продуваемого профиля, что регламентируется, в первую очередь, характером изменения статических давлений продуваемого газового потока по спинке, рис.2в, поз.3, и по корытцу продуваемого профиля, рис.2в, поз.2. Характер изменения осевых скоростей по спинке продуваемого профиля представлен на рис.2г, поз.3, по корытцу продуваемого профиля представлен на рис.2г, поз.2. Графическое дифференцирование кривых поз.2, 3, рис.2г, дает характер изменения ускорений продуваемого газового потока, рис.2д, из которого следует, что динамические (инерционные) силы в пределах контрольного контура Н-Н₁ взаимно компенсируют друг друга, а это, в свою очередь, означает, что скорость продуваемого газового потока никогда не создает тяги, поскольку тяга создается только первичными движущими силами от изменения статических давлений продуваемого газового потока. По сечению К-К мы условно разъединяем продуваемый газовый поток на два

потока, обтекающих спинку и корытце продуваемого профиля, и рассматриваем каждый поток отдельно. Естественно, к каждому из рассматриваемых потоков по сечению К-К необходимо приложить реакцию отсоединенного потока. Эта реакция отсоединенного потока обязательно существует, но направлена она, как и вектор C_a , рис.2б, перпендикулярно сечению К-К, что дает нулевую реакцию (силу) в осевом направлении. Таким образом, реакция отсоединенного потока в сечении К-К рассматриваемого потока в осевом направлении всегда равна нулю, а тяга любого из потоков, обтекающих продуваемый профиль по спинке и по корытцу, генерируется только первичными силами от изменения статических давлений в зоне К-С, поскольку в зоне реактивной струи С-Н₁ согласно закону Бойля-Мариотта, $P_i F_i = \text{const}$, т.е. градиент первичных движущих сил от изменения статических давлений равен нулю. Это означает, что реакция отсоединенного потока на сечение С-С со стороны реактивной струи С-Н₁ от первичных движущих сил от изменения статических давлений всегда равна нулю. Реакция отсоединенного потока на сечение С-С со стороны реактивной струи С-Н₁ от динамических (инерционных) сил присутствует, однако ее сумма с динамической (инерционной) силой в зоне К-С всегда дает нуль.

На примере потока, обтекающего спинку продуваемого профиля, рассмотрим процесс генерирования тяги, вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД и теоремы о подъемной силе по спинке продуваемого профиля.

Характер изменения первичных движущих сил от изменения статических давлений в зоне К-С по спинке продуваемого профиля представлен на рис.2е, поз.3 Площадь геометрической фигуры, заключенной между параболической кривой З и осью абсцисс, представляет собой работу первичных движущих сил от изменения статических давлений, именно эту площадь мы заменяем на адекватную прямоугольную площадь, рис.2е. Таким образом, подведенная по спинке продуваемого профиля работа первичных движущих сил от изменения статических давлений равна

$$A_{nc} = P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}} \cdot KC, \quad (8)$$

где $P_{H_{cpc}}^*$ – среднее статическое давление заторможенного потока в зоне К-С по спинке продуваемого профиля, $F_{H_{cpc}}$ – площадь газодинамического тракта в среднем сечении по спинке продуваемого профиля, KC – длина зоны К-С.

Подведенная работа A_{nc} , формула (8), затрачивается на преодоление работы силы сопротивления

$$A_{cc} = P_c F_{cc} \cdot KC, \quad (9)$$

и на преодоление работы силы тяги

$$A_{Rc} = R_c \cdot KC. \quad (10)$$

Запишем уравнение (8) в общем виде:

$$A_{nc} = A_{cc} + A_{Rc}, \quad (11)$$

откуда

$$R_c = P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}} - P_c F_{cc}. \quad (12)$$

Полетный (тяговый) КПД контура по спинке продуваемого профиля выводим из формулы:

$$\eta_{nc} = \frac{A_{Rc}}{A_{nc}}, \quad (13)$$

откуда

$$\eta_{nc} = \left(1 - \frac{P_c F_{cc}}{P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}}} \right) \times 100\% \quad (14)$$

Необходимо отметить, что направление вектора тяги R_c всегда противоположно среднему вектору C_{mc} продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля, рис.2б, т.е. тяга R_c продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля направлена под углом α_c вниз, при этом отрицательная подъемная сила продуваемого профиля по спинке рассчитывается как:

$$P_c = -R_c \cdot \sin \alpha_c, \text{ или} \quad (15)$$

$$P_c = -\left(P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}} - P_c F_{cc} \right) \cdot \sin \alpha_c, \quad (16)$$

где α_c – это угол между направлением V_p и направлением вектора R_c , рис.2б.

В этом случае теорема о подъемной силе продуваемого профиля по спинке читается как:

Подъемная сила по спинке продуваемого профиля всегда является функцией от тяги R_c , генерируемой по спинке продуваемого профиля и численно равна произведению тяги, генерируемой по спинке продуваемого профиля, на $\sin \alpha_c$.

Проведя аналогичные расчеты для продуваемого газового потока в зоне К-С по корытцу продуваемого профиля, получаем:

$$R_k = P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}} - P_c F_{ck}, \quad (17)$$

$$\eta_{pk} = \left(1 - \frac{P_c F_{ck}}{P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}}} \right) \times 100\%, \quad (18)$$

$$P_k = R_k \cdot \sin \alpha_k, \text{ или} \quad (19)$$

$$P_k = \left(P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}} - P_c F_{ck} \right) \cdot \sin \alpha_k, \quad (20)$$

где R_k – тяга продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля в зоне К-С, $P_{H_{cpc}}^*$ – среднее статическое давление заторможенного продуваемого газового потока в сечении Г-Г по корытцу продуваемого профиля в зоне К-С, $F_{H_{cpc}}$ – средняя площадь газодинамического тракта продуваемого газового потока в сечении Г-Г по корытцу продуваемого профиля в зоне К-С, F_{ck} – площадь выходного сечения газодинамического тракта по корытцу продуваемого профиля в сечении С-С, η_{pk} – полетный (тяговый) КПД по корытцу продуваемого профиля, P_k – подъемная сила по корытцу продуваемого профиля, α_k – угол между направлением V_p и направление вектора R_k , рис.2б.

В этом случае теорема о подъемной силе по корытцу продуваемого профиля читается как:

Подъемная сила по корытцу продуваемого профиля всегда является функцией от тяги R_k , генерируемой по корытцу продуваемого профиля и численно равна произведению тяги, генерируемой по корытцу продуваемого профиля, на $\sin \alpha_k$.

Кинематический анализ показывает, что положительная подъемная сила продуваемого профиля по корытцу существенно превосходит отрицательную подъемную силу по спинке продуваемого профиля, поскольку $P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}} > P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}}$, рис.2е.

Векторный анализ показывает, что приведение двух сил тяги R_c , R_k , к центру тяжести крыла дает дополнительные крутящие моменты M_{kc} , M_{kk} , направленные противоположно друг другу. При правильно спроектированном крыле самолета

подъемная сила R от результирующей тяги R_p , рис.2а, должна обязательно проходить через центр тяжести крыла, а крутящие моменты противоположного направления M_{kc} , M_{kk} должны быть равны. Если это требование не будет соблюдаться, то на крыле будет иметь место дополнительный крутящий момент, который может быть скомпенсирован или выдвижением закрылок, или выдвижением интерцепторов, и то и другое снижает КПД крыла.

Векторный анализ, рис.2а, показывает, что результирующая тяга \bar{R}_p продуваемого изолированного профиля единичного размаха является векторной суммой двух векторов \bar{R}_k , \bar{R}_c

$$\bar{R}_p = \bar{R}_k + \bar{R}_c, \quad (21)$$

а подъемная сила \bar{P} является функцией от результирующей тяги R_p и равна

$$P = R_p \cdot \sin \alpha, \quad (22)$$

где α – угол между направлением V_n и направление вектора \bar{R}_p , рис.2а.

В этом случае теорема о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха читается как:

Подъемная сила изолированного продуваемого профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках, всегда является функцией от результирующей тяги R_p , генерируемой этим продуваемым профилем, и численно равна произведению результирующей тяги R_p , на $\sin \alpha$.

Подъемную силу продуваемого профиля можно выразить и через R_t , поскольку осевая тяга продуваемого профиля R_t равна

$$R_t = P_h F_{h_np} - P_c F_c, [1], с.19, формула (8), \quad (23)$$

где P_h – давление окружающей среды, F_{h_np} – лобовая площадь продуваемого профиля, F_c – суммарная площадь продуваемых потоков по спинке и по корытцу продуваемого профиля в выходном сечении С-С. Подъемная сила P равна

$$P = R_t \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (24)$$

$$P = (P_h F_{h_np} - P_c F_c) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (25)$$

а полетный (тяговый) КПД продуваемого изолированного профиля единичного размаха можно выразить как:

$$\eta_n = \left(1 - \frac{P_c F_c}{P_h F_{h_np}} \right) \times 100\% \quad (26)$$

Таким образом, дополнительно теорему о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха можно сформулировать в следующем виде:

Подъемная сила изолированного продуваемого профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках, всегда является функцией от осевой тяги R_t , генерируемой этим продуваемым профилем, и численно равна произведению осевой тяги R_t на $\operatorname{tg} \alpha$.

Применение уравнения Эйлера, как контрольного варианта, для вывода формулы тяги продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках

Рассмотрим, например, применение уравнения Эйлера для вывода формулы тяги продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля. Для вывода формулы тяги продуваемого профиля с помощью уравнения Эйлера необходимо обе

части этого уравнения разделить на Δt с целью перехода на размерность $k\Gamma$ или H , после чего уравнение Эйлера преобразуется во второй закон И.Ньютона, [2], с.152-153:

$$m_r = \frac{\Delta V}{\Delta t} = m_r a = \sum P_i , \quad (27)$$

где m_r – секундный массовый расход продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля; ΔV – разница осевых скоростей газового потока на выходе, V_2 , из трубки тока в зоне К-С и на входе, V_1 , в эту же трубку тока; Δt – время импульса внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, или время перемещения потока от сечения К до сечения С; $\frac{\Delta V}{\Delta t} = a$ – изменение ускорения продуваемого газового потока в зоне К-С по спинке продуваемого профиля; $m_r a$ – изменение силы инерции продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля в зоне К-С; $\sum P_i$ – сумма всех остальных внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, включая силу тяги R_c продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля, реакции отсекенных потоков со стороны первичных движущих сил от изменения статических давлений, вторичных динамических-инерционных сил, действующих на сечение К-К снизу, рис.2б, от зоны К-С продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля и справа на сечение С-С от зоны С-Н₁.

В этом случае уравнение Эйлера (27) читается только так:

Изменение силы инерции продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля $m_r a$, которая является одной из внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, всегда равняется сумме всех остальных внешних сил, включая силу тяги R_c продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля, а также реакции отсекенных потоков от первичных движущих сил от изменения статических давлений, вторичных динамических-инерционных сил, действующих на сечение К-К снизу, рис.2б, от зоны К-С продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля и на сечение С-С справа от зоны С-Н₁.

Запишем уравнение Эйлера (27) в векторной форме:

$$\overline{m_r a} = \overline{P_{uh1}} + \overline{P_{uh2}} + \overline{P_{H_{cpc}}^* F_{H_{cpc}}} + \overline{P_c F_{cc}} + \overline{R_c} , \quad (28)$$

где P_{uh1} – реакция отсекенного потока зоны К-С продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля от динамических-инерционных сил, которая действует на сечение К-К снизу; P_{uh2} – реакция отсекенного потока зоны С-Н₁ от динамических-инерционных сил, которая действует на сечение С-С справа; R_c – тяга продуваемого газового потока по спинке продуваемого профиля.

Реакция, P_{uh1} , отсекенного потока зоны К-С продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля от динамических-инерционных сил, которая действует на сечение К-К снизу равна нулю, поскольку сумма динамических-инерционных сил в контрольном контуре К-Н₁ продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля всегда равна нулю.

Реакция, P_{uh2} , отсекенного потока зоны С-Н₁ на сечение С-С справа существует и будет учтена в силовом уравнении.

Реакция отсекенного потока зоны К-С продуваемого газового потока по корытцу продуваемого профиля, действующая на сечение К-К снизу от первичных движущих сил от изменения статических давлений существует и направлена

перпендикулярно сечению К-К, поэтому осевая составляющая такой реакции всегда равна нулю.

Реакция отсоединенного потока зоны С-Н₁, действующая на сечение С-С справа от первичных движущих сил от изменения статических давлений всегда равна нулю, поскольку в зоне реактивной струи С-Н₁, согласно закона Бойля-Мариотта, Р_iF_i=const. Это означает, что градиент первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока в реактивной струе всегда равен нулю, а сама реактивная струя движется только под действием инерционных сил.

Исходя из характеристик реакций отсоединенных потоков, уравнение Эйлера (28) можно записать как:

$$\overline{m_r \alpha} + \overline{P_{uh2}} = \overline{R_c} + \overline{P_{h_{cpc}}^* F_{h_{cpc}}} + \overline{P_c F_{cc}} \quad (29)$$

Левая часть этого уравнения является суммой динамических-инерционных сил в пределах контрольного контура К-Н₁ по спинке продуваемого профиля, которая всегда равна нулю, тогда в модульной форме

$$0 = -R_c + P_{h_{cpc}}^* F_{h_{cpc}} - P_c F_{cc} \quad (30)$$

Откуда

$$R_c = P_{h_{cpc}}^* F_{h_{cpc}} - P_c F_{cc} \quad (12)$$

Таким образом, продуваемый изолированный профиль единичного размаха, как движитель на непрерывных потоках, генерирует тягу, полетный (тяговый) КПД, подъемную силу, которые рассчитываются по единым формулам тяги, полетного (тягового) КПД, подъемной силы для всех типов движителей на непрерывных потоках.

Согласно выведенной теореме о подъемной силе продуваемого профиля установлено, что подъемную силу продуваемого профиля всегда нужно рассматривать как функцию от тяги, генерируемой продуваемым профилем, установлено, что все продуваемые профили типа лопастей гребных и воздушных винтов, профилей крыльев самолетов, птиц и др. относятся к движителям прямой реакции, тяга которых измеряется только в кГ или Н.

Общие выводы, перспективы дальнейших разработок

Содержание данной статьи является краткой теорией крыла самолета, разработанной согласно единой теории движителей на непрерывных потоках. Содержание данной статьи открывает широкие перспективы, прежде всего, ее практического применения, например, для более точного расчета крыльев самолетов, планеров и др. Необходимо отметить, что метод кинематического анализа, заложенный в основу вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, является основой расчета не только крыльев самолетов, планеров, но и любого движителя, включая ВРД и ракетные движители, согласно уже разработанной единой теории движителей на непрерывных потоках. Поэтому очередная статья будет касаться только ракетных двигателей на предмет вывода их формулы тяги, полетного (тягового) КПД и рекомендации по их проектированию.

Список литературы: 1. Мамедов Б. Ш. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД турбореактивных двигателей [Текст] / Б. Ш.Мамедов / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, –Харьков: изд. Технологический центр. Прикладная механика, 4/7(52), 2011, с.15–20, изд. ВАК. 2. Мамедов Б. Ш. Глава 2. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Вывод формулы тяги,

полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как движителя [Текст] / Б. Ш.Мамедов / Вісник національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях, –Харків: НТУ "ХПІ", 2011, –№33,–с.146-153, видавництво ВАК. 3. Шляхтенко С. М. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей [Текст] / С.М. Шляхтенко, М.: Машиностроение, 1987,–568с. 4. Казанджан П. К. Теория авиационных двигателей [Текст] / П. К. Казанджан, Н. Д. Тихонов, А. К. Янко – М.: Машиностроение, 1983,–223с.

УДК 629.7.036.001

Глава 9. Основи єдиної теорії рушій на неперерваних потоках. Розрахунок формул тяги, польотного (тягового) ККД, теореми про підйомну силу продувавшого ізольованого профілю одиничного розмаху, як рушія на неперерваних потоках (стисла теорія крила літака)/Мамедов Б. Щ// Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С. 3-17.

Розглядаються недоліки сучасної теорії повітря-реактивних двигунів, пов'язані з помилковою теоремою о підйомній силі продувашого профілю, виведеною професором М.Є.Жуковським у 1912 році.

Ключові слова: продувавший профіль, кінематичний аналіз, тяга продувашого профілю, теорема о підйомній силі Іл.: 2. Бібліогр.: 4 назв.

UDK 629.7.036.001

Chapter 9. Foundations of unit theory of movers on continuous flows. Calculation of formulas of thrust, flying (thrust) efficiency, theorem of the rising force of the blowing isolated profile of unit range, as a mover on continuous flows (short theory of aircraft wing) /Mamedov B. //Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - №50(956). P.3-17.

Are looked through the drawbacks of modern theory of air-jet engines, which are connected with a mistaken theorem of the rising force of blowing profile, calculated by professor N.J.Gukovsky in 1912 year. Im.: 2: Bibliogr.: 4

Keywords: blowing profile, kinematical analyse, the thrust of blowing profile, theorem of rising force.

Надійшла до редакції 10.08.2012

УДК 621.746.6.001.2

В. Ю. СЕЛИВЕРСТОВ, д-р техн. наук, проф. НМетАУ, Дніпропетровск,

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТА СТЕФАНА-ШВАРЦА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ОТЛИВКИ В ОБЪЕМНОЙ ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ

Представлен сравнительный анализ результатов расчета процесса затвердевания отливок из стали и алюминиевого сплава, относящихся к основным геометрическим разновидностям тел охлаждения, методом Стефана-Шварца и методом конечных элементов. Из.: 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: затвердевание, расчет, метод Стефана-Шварца, метод конечных элементов, сравнительный анализ.

Введение

Технология газодинамического воздействия предполагает в качестве необходимого условия осуществления процесса наличие на поверхности отливки слоя затвердевшего металла. Толщина этого слоя должна обеспечивать по своим

© В. Ю. СЕЛИВЕРСТОВ 2012

прочностным характеристикам герметичность системы отливка-устройство для ввода газа, находящейся под давлением, вплоть до полного затвердевания отливки.

Анализ предыдущих публикаций

Для осуществления и достижения максимальной степени эффективности газодинамического воздействия необходимо определить время выдержки расплава в форме до момента подачи газа, соответствующее формированию корки заданной толщины и, соответственно, прочности [1 – 5]. При этом могут применяться экспериментальные методики, такие как выливание жидкого остатка или термоэлектрические исследования. Также несомненный интерес представляет использование для этих целей систем компьютерного моделирования литьевых процессов (СКМ ЛП) и инженерных методов расчета температурного поля отливки. Одной из наиболее «доступных» расчетных схем затвердевания отливки в полубесконечной литьевой форме, обладающей высокой степенью достоверности результатов, является аналитическое решение К. Шварца [119].

Для задачи затвердевания в постановке К. Шварца приняты следующие допущения (рис. 1) [119]:

- полубесконечное тело, имитирующее отливку, соприкасается с другим полубесконечным телом, имитирующим форму. Поверхность их соприкосновения является неограниченной плоскостью;

- температура тела первоначально во всех точках равна T_1 . В начальный момент времени, на поверхности тела температура мгновенно понижается до T_2 и далее остается постоянной;

- при температуре T_c , лежащей между T_1 и T_2 , происходит затвердевание вещества тела, в результате которого освобождается удельная теплота кристаллизации L ;

- начальная температура формы во всех точках равна T_3 ;

- тепловые характеристики вещества тела не зависят от температуры, но в твердом и жидким состояниях могут иметь разные величины;

- теплопередача как в твердой, так в жидкой частях тела, подчиняется уравнению Фурье; конвективное перемешивание в жидкой части не учитывается.

В момент времени, равный нулю, отливка соприкасается с формой, имеющей начальную температуру T_3 . Между отливкой и формой сразу же устанавливается и поддерживается неограниченно долго идеальный контакт. Температуры их соприкасающихся поверхностей, а также производные для линий распределения температур в точке соприкосновения для отливки и формы равны друг другу. Температура в точке соприкосновения отливки и формы или температура контакта, $T_c = T_2$.

Цель работы - проведение сравнительного анализа результатов расчета затвердевания отливок основных конфигуративных типов из стали и алюминиевого

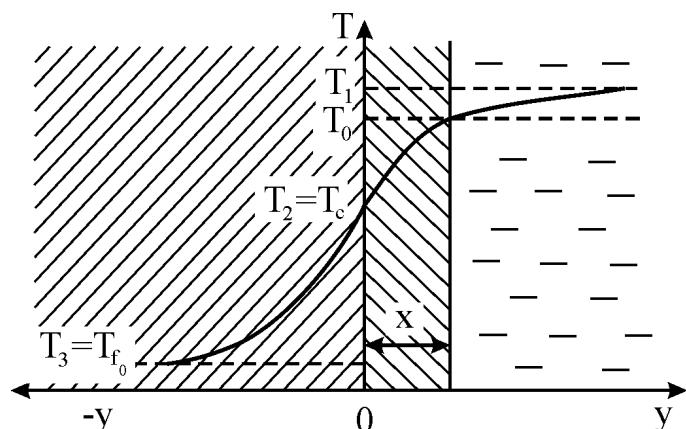


Рис. Схема к задаче Стефана-Шварца

сплава в объемной песчаной форме инженерным методом и методом конечных элементов.

Основной материал

Решение задачи Стефана-Шварца представляет собой следующую систему уравнений (1 – 5). Температура контакта на границе отливки и формы определяется выражением (1) и является постоянной величиной

$$T_c = \frac{T_o}{1 + \frac{b_F}{b_s} \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_s}}\right)}; \quad (1)$$

коэффициент затвердевания K является корнем уравнения (3.2)

$$\rho_L L \frac{\sqrt{\pi}}{2} K = b_s (T_o - T_c) \frac{e^{\frac{K^2}{4a_s}}}{\operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_s}}\right)} - b_L t \frac{e^{\frac{K^2}{4a_L}}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_L}}\right)}; \quad (2)$$

температура в расплавленной и затвердевшей частях отливки определяется по формулам (3.3) и (3.4) соответственно

$$T_L = (T_o + t) - t \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_L \tau}}\right)}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_L}}\right)}, \quad (3)$$

$$T_s = T_c + (T_o - T_c) \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_s \tau}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_s}}\right)}; \quad (4)$$

распределение температуры в форме

$$T_F = T_c - (T_o - T_{F_0}) \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_F \tau}}\right), \quad (5)$$

где a – температуропроводность материала $a = \lambda/c\rho$, $\text{м}^2/\text{s}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; c – теплоемкость, $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$; ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; b – коэффициент аккумуляции тепла формой ($b = \sqrt{\lambda c \rho}$), $\text{м}^{0.5}/\text{s}^{0.5}$; K – коэффициент затвердевания, $\text{м}/\text{s}$; y – координата, м ; τ – время, s . Индексы s и L обозначают, что соответствующие величины относятся к твердой или жидкой части отливки, F – к форме.

Расчеты процесса затвердевания и построение температурных полей проводились для отливок формы шара и цилиндра диаметром 200 мм , а также плиты толщиной 200 мм из алюминиевого сплава эвтектического состава и углеродистой стали, затвердевающих в объемной форме из сухой песчано-глинистой смеси (ПГС). Сравнение проводилось с данными, полученными при моделировании аналогичных процессов в тех же условиях в СКМ ЛП «Полигон» (метод конечных элементов).

Для проведения расчетов были приняты следующие исходные данные для отливки и формы (табл.1).

Расчет производился для 50 точек, 10 из которых лежат в области отливки, остальные принадлежат форме. Для распределений температур в отливке и форме, полученных на основании инженерного расчета Стефана-Шварца и с использованием СКМ ЛП «Полигон», определено максимальное относительное отклонение (6).

Таблица 1 - Усредненные значения теплофизических параметров материалов отливки и формы

Параметр	Значение	
	для твердого	для расплава
Отливка – углеродистая сталь		
Плотность, / ³	7600	7150
Теплоемкость, /	761	920
Теплопроводность, /	56	21
Скрытая теплота кристаллизации, /	268 000	
Температурный интервал кристаллизации,	1455 – 1485	
Отливка – алюминиевый сплав		
Плотность, / ³	2750	2370
Теплоемкость, /	1070	1279
Теплопроводность, /	160	165
Скрытая теплота кристаллизации, /	290 000	
Температурный интервал затвердевания,	560 – 600	
Форма – песчано-глинистая смесь		
Плотность, / ³	1680	
Теплоемкость, /	1090	
Теплопроводность, /	1,25	

Таблица 2 - Сравнение результатов расчета затвердевания отливок различной конфигурации инженерным методом и методом конечных элементов

Материал отливки	Максимальное относительное отклонение (%) изохрон при затвердевании долей приведенной толщины отливки								Отклонени е времени затвердева ния отливки. %	
	для отливки, x/X				для формы, x/X					
	0,1	0,5	0,9	1	0,1	0,5	0,9	1		
Шар										
Алюминиевый сплав	0,8	0,7	0,3	0,8	10,2	40,7	41,4	41,6	1,7	
Углеродистая сталь	0,3	0,8	1,7	2,6	13,8	45,8	47,7	46,5	0,8	
Цилиндр										
Алюминиевый сплав	1,1	0,5	0,2	0,1	26,2	34,8	34,9	34,8	2,3	
Углеродистая сталь	0,3	0,7	0,8	0,9	5,5	41,2	40,9	41,6	3,6	
Плита										
Алюминиевый сплав	0,8	0,5	0,4	0,2	9,4	1,2	0,8	0,9	2,1	
Углеродистая сталь	1,9	0,4	0,2	0,3	15,1	2,8	0,9	0,8	2,4	

Максимальное относительное отклонение (Δ , %) определялось как максимальное отношение разности температур в точках с одинаковыми координатами к среднему значению температуры в соответствующих точках (табл.2):

$$\Delta = \max_{i=1,\dots,n} \left\{ \frac{|T_{i1} - T_{i2}|}{(T_{i1} + T_{i2})/2} \cdot 100\% \right\} \quad (6)$$

где T_{i1} – значение температуры в i -й точке, полученное с применением инженерного расчета Стефана-Шварца, T_{i2} – значение температуры в i -й точке, полученное с применением СКМ ЛП «Полигон»

Выводы

1. Проведенный сравнительный анализ результатов расчета затвердевания отливок различной конфигурации инженерным методом и методом конечных элементов показал, что рассчитанное максимальное относительное отклонение, характеризующее расхождение результатов для распределений температур в отливке, находится в диапазоне 0,8 – 3,6 % по времени полного затвердевания и 0,3 – 2,6 % при затвердевании различных долей приведенной толщины отливки.

2. При необходимости построения температурных полей и, в том числе, диверсификации способов расчета термовременных параметров герметизации отливки в объемной песчаной литейной форме для осуществления газодинамического воздействия, возможно использование инженерного метода расчета Стефана-Шварца.

Список литературы: 1. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селів'орстов В. Ю., Хричиков В. Є., Доценко Ю. В. – №200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21. 2. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селів'орстов В. Ю., Хричиков В. Є., Доценко Ю. В. – №200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23. 3. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селів'орстов В. Ю., Хричиков В. Є., Куцова В. З., Меняйло О. В., Савега Д. О. – № 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23. 4. Селиверстов В. Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок [Текст]/В.Ю. Селиверстов //Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. – 2007. – Том 10. – С. 25 – 35. 5. Селів'орстов В. Ю. Перспективи використання газодинамічного впливу на розплав у ливарній формі при виготовленні якісних литих заготовок [Текст]/В.Ю. Селів'орстов, . Доценко //Материалы II международной конференции [Стратегия качества в промышленности и образовании] (Варна, Болгария, 2 – 9 июня 2006 г.). – 2006. – Том 1. – С.164. 6. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов [Текст]/Б. Б. Гуляев . – М.: Машиностроение, 1976. – 316 с

УДК 621.746.6.001.2

Використання розрахунку стефана-шварца для визначення часу герметизації виливка в об'ємній піщаній формі / Селіверстов В. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956).C.17-22.

Представленний порівняльний аналіз результатів розрахунку процесу затвердіння виливків із сталі та алюмінієвого сплаву, що відносяться до основних геометричних різновидів тіл охолодження, методом Стефана-Шварца і методом скінчених елементів. Іл.: 1. Бібліogr.:6. назв.

Ключові слова: затвердіння, розрахунок, метод Стефана-Шварца, метод скінчених елементів, порівняльний аналіз.

UDC 621.746.6.001.2

Use of calculation of stephen-schwarz for determination of time of pressurizing of cast in a by volume sandy form/ Seliverstov V. //Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - №50(956). P.17-22.

The comparative analysis of results of calculation of process of consolidation of casts is presented from steel and aluminium alloy, bodies of cooling related to the basic geometrical varieties, by the method of Stephen-Schwarz and method of eventual elements. Im.:1 : Bibliogr.: 6.

Keywords: consolidation, calculation, method of Stephen-Schwarz, method of eventual elements, comparative analysis.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 656.1/5, УДК 629. 113. 004

A. П. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, АВВУ, Харків;

В. Г. МАЗАНОВ, канд.техн. наук, доц., АВВУ, Харків;

С. П. МАЗІН, канд.техн. наук, доц., АВВУ,Харків;

О. С. МАЗІН, інж., ХНАДУ, Харків

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ МАРШРУТНОМУ ТРАНСПОРТІ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ ЇЇ ПОКАЗНИКІВ

Встановлено що витрати пального на маршруті, в залежності від кількості пасажирів можуть збільшуватись у 1,5 рази, а від кута нахилу дороги у 3,3 рази. Визначено що гібридні автобуси і електробуси можуть суттєво знизити витрати пального на міському маршрутному пасажирському транспорті, а також покращити екологічні показники. Іл.: 7. Бібліогр.:9. назв.

Ключові слова: паливна економічність, транспорт, гібридний автобус, електробус.

Введення

Проблема економії пального для всіх країнах світу має суттєве значення, так як запаси газу та нафти що річно суттєво знижуються.

Автомобільний транспорт є одним з основних користувачів нафтопродуктів. На перевезення автомобілями вантажів і пасажирів витрачається біля 30% світлих нафтопродуктів. Питома вага витрат на паливно-мастильні матеріали в собівартості однієї тони - кілометру складає 15 – 20 %. Відповідно до цього економні витрати пального при експлуатації мають велике народногосподарське значення [1].

Вважаючи на те що в міському маршрутному транспорті використовується велика кількість автобусів (тільки в м. Харкові використовується близько 448 автобусів [2]) питання паливної економічності є актуальними і свідчать про наявність проблеми.

Огляд останніх досліджень і літератури

На сьогодення можна виділити чотири основні наукові напрямки пов'язані з автомобілями задіяними у міських маршрутних перевезеннях. Перший напрямок стосується теорії міських пасажирських перевезень [2, 3]. Другий напрямок відноситься до технічної експлуатації автомобілів [1, 4, 5]. Третій напрямок розглядає питання будови і проектування автомобільної техніки [6, 7]. Четвертий сучасний напрямок стосується електричного міського маршрутного транспорту де в

перспективі передбачається використання гібридних автобусів, а також електробусів [8, 9]. За відомостями [8] автомобіль з гібридною силовою установкою здатний виконати найжорсткіші екологічні вимоги, на 40 – 80 % знизити витрати моторного палива й на 50 – 90 % – викиди вуглекислого газу в атмосферу. На рис. 1 представлено гібридний автобус ЛиАЗ – 5292, котрий, за даними виробника, дає економію пального 25 % - 30 %.

На рис. 2 представлено електробус CKZ612 китайського виробництва.



Рис.1. Гібридний автобус ЛиАЗ - 5292



Рис.2. Електробус CKZ612 має подвійний порт для прискореної підзарядки

Кожен з цих напрямків, у науковому плані є досить розвиненим, але не дає чіткої відповіді на питання щодо теоретичного визначення і аналізу витрат пального на маршрутному пасажирському транспорті в містах.

Мета статті (дослідження) – визначення перспективних напрямків розвитку маршрутного пасажирського транспорту в містах, таких що передбачають суттєве покращення показників паливної економічності і екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу

Відомо що середня потужність, яка повинна підводитись до ведучих коліс автомобіля на ділянці шляху ΔS_i визначається з формули [5] :

$$P_{ki} = \psi_i G_a v_i + k A v^3 + \delta m a v \quad (1)$$

де ψ_i – коефіцієнт опору дороги на ділянці шляху ΔS_i ;

G_a – сила ваги автомобіля, кН;

v_i – швидкість руху автомобіля на ділянці шляху ΔS_i , м/с ;

k_b – коефіцієнт опору повітря ;

A_b – максимальна площа поперечного перетину автомобіля, m^2 ;

δ – коефіцієнт що враховує маси котрі обертаються;

m_a – маса автомобіля при номінальному навантаженні, т;

a_x – максимально можливе прискорення автомобіля при русі в заданих дорожніх умовах, m/s^2 .

Коефіцієнт що враховує маси котрі обертаються визначається з формули

$$\delta = 1 + \sigma_1 + \sigma_2 \cdot U^2 \quad (2)$$

де $\sigma_1 = 0,03 \dots 0,05$; $\sigma_2 = 0,04 \dots 0,06$ (менші значення відносяться до більш важких автомобілів) ;

U_{kp} - передаточне відношення коробки передач на ділянці шляху ΔS_i ;

Максимально можливе прискорення автомобіля при русі в заданих дорожніх умовах визначається з формули

$$= \frac{g}{\delta} \cdot D - \psi \quad (3)$$

де D – динамічний фактор на ділянці шляху ΔS_i ;
 g – прискорення вільного падіння, m/s^2 .

Вважаючи на те що міський пасажирський транспорт має не значні параметри швидкостей (18 – 20 км/г [3]), до подальших теоретичних досліджень, нехтуючи силою опору повітря і силою що витрачається на прискорення автомобіля приймаємо

$$P_{ki} = \psi_i G_a v_i \quad (4)$$

Розхід палива (в літрах) при проїзді ділянці ΔS_i з урахуванням втрат потужності в трансмісії [5] визначається з формули

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e P_{ki} \Delta S_i}{\rho \eta_T v_i}, \quad (5)$$

де g_e – питомий розхід палива двигуном, $kg / kW \cdot h$;

ρ – щільність палива, kg/m^3 (при розрахунках можна приймати щільність бензину рівною 730 kg/m^3 , а дизельного палива – 860 kg/m^3);

η_T – коефіцієнт корисної дії трансмісії (в більшості випадків можна приймати 0,9) ;

Підставляючи в формулу (1.5) замість P_{ki} його значення з формули (1.4) маємо

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot \psi \cdot G \cdot v \cdot \Delta S}{\rho \eta_T v_i}, \quad (6)$$

Скоротивши в формулі (1.6) величину v_i маємо наступну формулу визначення розходу палива (в літрах) при проїзді ділянці ΔS_i

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot \psi \cdot G \cdot \Delta S}{\rho \cdot \eta_T}, \quad (7)$$

Коефіцієнт опору дороги на ділянці шляху ΔS_i визначається з формули

$$\psi_i = \sin \alpha + \cos \alpha \cdot f; \quad (8)$$

де f – коефіцієнт опору коченню (для асфальту можна прийняти – 0,016).

Сила ваги автомобіля, kH ;

$$G_a = m_a \cdot g, \text{ kH.} \quad (9)$$

Розхід палива при проїзді всього маршруту визначається з формули [5]

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \quad (10)$$

де n – число дільниць, на які розділений весь маршрут.

Для
прикладу
візьмемо
маршрут
розврахункову
схему, котрої
приведено на
рис. 3.

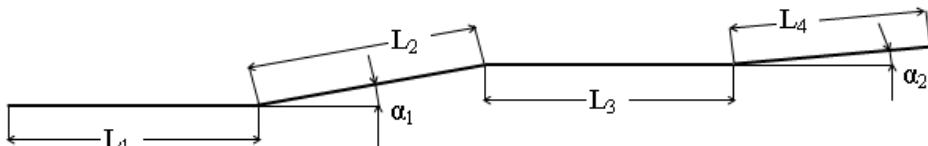


Рис.3. Розрахункова схема маршруту

До розрахунків на приклад приймаємо : автобус малого класу БАЗ – 212 ; L1= 1200 м; L2 = 300 м; L3 = 1600 м; L4 = 800 м; α1 = 100; α2 = 50; f = 0,016.

Для теоретичних досліджень приймаємо значення питомого розходу пального двигуном, як величину постійну – на приклад для дизельного двигуна 0,25 кг /кВт · год.

Згідно з формулами (7 – 10) проведемо розрахунки та занесемо отримані результати в табл. 1.

$$G_a = m_a \cdot g = 7,25 \cdot 9,8 = 71,05 \text{ кН} \quad (11)$$

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_1 \frac{L_3}{L_1} \quad (12)$$

Сумарна витрата пального на маршруті складе

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i = 1,18 \quad (13)$$

Таблиця 1 - Результати розрахунків

	ΔQ_1	ΔQ_2	ΔQ_3	ΔQ_4	α_1	α_2	Ψ
L ₁	0,123373643	-	-	-	0	0	0,016
L ₂	-	0,364951	-	-	10	0	0,18931821
L ₃	-	-	0,164498	-	0	0	-
L ₄	-	-	-	0,52974	0	5	0,103050847

Середня витрата пального на маршруті на 1,0 км буде дорівнювати

$$Q_c = Q : (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = 0,30 \text{ л/км}, \text{ тобто } 0,30 \cdot 100 = 30 \text{ л/100 км.}$$

На одного пасажира, при повному завантаженні автобуса, витрата пального на маршруті складе

$$Q_{\text{пас}} = Q : n_{\text{пас}} \max = 1,18 : 37 = 0,031 \text{ л.} \quad (14)$$

Вартість на пальне на одного пасажира приблизно складе

$$V_p = Q_{\text{пас}} \cdot V_{\text{пал}} = 0,031 \cdot 10 = 0,31 \text{ грн.} \quad (15)$$

де $V_{\text{пал}}$ – вартість одного літра пального, грн.

Для автобуса БАЗ – 212 споряджена маса складає 4,66 т, повна маса – 7,25т, максимальна кількість пасажирів $n_{\text{пас}}$ – 37 . Прийняту для даного автобуса масу пасажира визначаємо з формули $m_{\text{пас}} = (m_{\text{пов}} - m_{\text{спор}}) : n_{\text{пас}} \max = (7,25 - 4,66) : 37 = 0,07 \text{ т} (70 \text{ кг})$

Сила ваги пасажира визначається з формули

$$G_{\text{пас}} = m_{\text{пас}} \cdot g = 0,07 \cdot 9,8 = 0,686 \text{ кН} \quad (16)$$

Витрата пального на маршруті (в літрах) при проїзді ділянці ΔS_i в залежності від завантаження автобуса визначається по формулі

$$\Delta Q_i = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot \psi \cdot (G_{\text{спор}} + n \cdot G_{\text{пас}}) \cdot \Delta S}{\rho \cdot \eta_T}, \quad (17)$$

де $G_{\text{спор}}$ – сила ваги спорядженого автобуса, кН;

$$G_{\text{спор}} = m_{\text{спор}} \cdot g = 4,66 \cdot 9,8 = 45,67 \text{ кН}$$

Користуючись вище наведеними розрахунками будуємо графік витрат пального автобусом на ділянці L_1 в залежності від кількості пасажирів (рис. 4).

Підставляючи в формулу (17) замість коефіцієнту опору дороги ψ

формулу його визначення (18) отримуємо формулу витрат пального на маршруті (в літрах) при проїзді ділянці ΔS_i в залежності від кута нахилу дороги.

$$\Delta Q_{i\alpha} = 0,28 \cdot \frac{g_e \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \cdot (G_{\text{спор}} + n \cdot G_{\text{пас}}) \cdot \Delta S}{\rho \cdot \eta_T}, \quad (18)$$

Аналіз витрат пального в залежності від кута нахилу дороги від $\alpha = 0^0$ до $\alpha = 20^0$ проводимо, на приклад, відносно ділянці L_1 , при завантаженні автобуса 20 пасажирами. Розрахунки зведемо в табл. 2.

Користуючись вище наведеними розрахунками будуємо графік витрат пального автобусом на ділянці L_1 в залежності від кута нахилу дороги при перевезенні 20 пасажирів (рис. 5).

Таблиця 2 - Аналіз витрат пального в залежності від кута нахилу дороги

	L_1	α
ΔQ_{1-20-0}	0,1031	0
ΔQ_{1-20-5}	0,6642	5
$\Delta Q_{1-20-10}$	1,2202	10
$\Delta Q_{1-20-15}$	1,7669	15
$\Delta Q_{1-20-20}$	2,3002	20

Далі проаналізуємо вплив конструктивних показників транспортних засобів (місткість пасажирів, маса машини, тип двигуна) на витрати пального на маршрутному пасажирському транспорті. До аналізу беремо на приклад автобус Ікарус – 280.

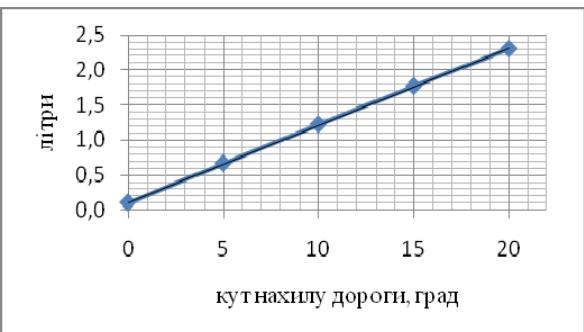


Рис. 5. Витрати пального на ділянці L_1 в залежності від кута нахилу дороги при перевезенні 20 пасажирів

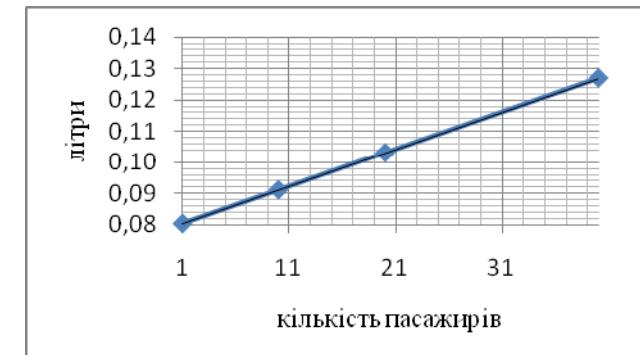


Рис. 4. Витрати пального на ділянці L_1 в залежності від кількості пасажирів

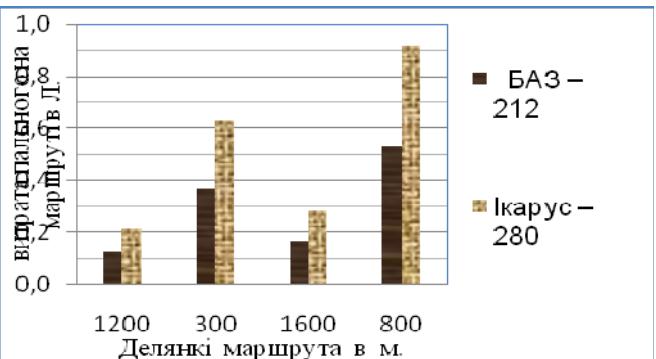


Рис. 6. Витрати пального на ділянках L_1 - L_4 для автобуса Ікарус – 280 та автобуса БАЗ – 212

Сумарна витрата пального на маршруті складе

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i = 0,213 + 0,631 + 0,285 + 0,916 = 2,045 \quad (13)$$

Середня витрата пального на маршруті на 1,0 км буде дорівнювати

$$Q_c = Q : (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = 2,045 : (1,2 + 0,3 + 1,6 + 0,8) = 0,525 \text{ л/км}, \text{ тобто } 0,525 \cdot 100 = 52,5 \text{ л/100 км}.$$

На одного пасажира, при повному завантаженні автобуса, витрата пального на маршруті складе

$$Q_{\text{пас}} = Q : n_{\text{пас}} \text{ max} = 2,045 : 162 = 0,01262 \text{ л.} \quad (14)$$

Вартість на пальне на одного пасажира приблизно складе

$$B_p = Q_{\text{пас}} \cdot V_{\text{пал}} = 0,01262 \cdot 10 = 0,1126 \text{ гр.} \quad (15)$$

Порівняна характеристика сумарної та середньої витрати пального на маршруті для двох типів автобусів показана на рис. 7.

Таким чином, при використанні автобуса великої місткості пасажирів вартість пального на одного пасажира на маршруті може зменшитись у $0,31 : 0,1126 = 2,75$ раз.



Рис.7 Порівняна характеристика сумарної та середньої витрати пального на маршруті для двох типів автобусів

Висновки

Витрати пального на маршруті, в залежності від кількості пасажирів можуть збільшуватись у 1,5 рази. Витрати пального в залежності від кута нахилу дороги на маршруті можуть збільшуватись у 3,3 рази. Гібридні автобуси і електробуси можуть суттєво знизити витрати пального на міському маршрутному пасажирському транспорті, а також покращити екологічні показники. Гібридні автобуси і електробуси вже існують, а теоретичні основи визначення технічних і економічних показників маршрутів міського пасажирського транспорту відсутні. Ділянці маршрутів з великими кутами нахилу дороги потребують окремих експериментальних досліджень, метою котрих повинно бути визначення сумарного коефіцієнта опору дороги. Запропонована методика дає змогу виконувати теоретичні дослідження котрі спрямовано на економію пального на міському маршрутному пасажирському транспорті. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку математичної моделі паливної економічності на міському маршрутному пасажирському транспорті.

Список літератури: 1. Говорущенко, Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей. [Текст] : учебник. / Н. Я. Говорущенко . – Харьков : Вища школа. Изд - во при Харьк. ун – те, 1984. – 312 с. 2. Горбачев, П. Ф. Сучасні наукові підходи до організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах. [Текст] : монографія. / П. Ф. Горбачев. Харків : Ізд-во ХНАДУ, 2009. – 196 с. 3. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок. [Текст] : учебное пособие для вузов. / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М. Высш. школа, 1980. – 535 ., ил. 4. Безбородов, Г. Б. Экономия топлива при вождении автомобиля. [Текст]: книга / Г.Б. Безбородов, Н. М. Маяк, А.А. Чалий. К.: Техника, 1986. – 112 с., ил. – Библиогр. : с. 109 – 110. 5. Гришкевич, А. И. Автомобили: теория. [Текст]: учебник для вузов / А. И. Гришкевич. Мн .: Выш. шк., 1986. – 208 с .. ил. 6. Вишняков, Н. Н. Автомобиль: Основы конструкции. [Текст]: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» – 2-е изд., перераб. и доп. / Н.Н. Вишняков, В. К. Вахламов, А. Н. Нарбут, и др. М.: Машиностроение, 1986. – 304 с.: ил. 7. Гольд, Б. В. Конструирование и расчет автомобиля. [Текст]: ученик изд. 2-е, переработанное и дополненное. / Б.В. Гольд. М .: – 1962. 8. Бажинов, О. В. Гібридні автомобілі. [Текст]: монографія. / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С. А. Серіков, А. В. Гнатов, А. В. Колесников. Харків, ХНАДУ, 2008. – 327с. 9. Соснин, Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы. [Текст]: учебное пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей. / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. М : СОЛОН – Пресс, 2005. – 240 с .. ил. – (Серия «Библиотека студента»).

УДК 656.1/5, УДК 629. 113. 004

Теоретические исследования топливной экономичности на пассажирском маршрутном транспорте и перспективы улучшения ее показателей./ Горбунов А.П.,

Мазанов В.Г., Мазин С.П., Мазин А. С.// Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - №50(956). С.22-28.

Установлено, что расход топлива на маршруте, в зависимости от количества пассажиров может увеличиваться в 1,5 раза, а от угла наклона дороги в 3,3 раза. Определено, что гибридные автобусы и электробусы могут существенно снизить расход топлива на городском маршрутном пассажирском транспорте, а также улучшить экологические показатели. Из.: 7. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: топливная экономичность, транспорт, гибридный автобус, электробус.

UDK 656.1/5, UDK 629. 113. 004

Theoretical studies of fuel economy in passenger bus and the prospects for enhancing its performance/ A. Gorbunov, V.Mazanov, S.Mazin, A.Mazin // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - № 50(956). P.22-28.

Found that the fuel consumption on the route, depending on the number of passengers can be increased by 1.5 times, and the angle of inclination of the road at 3.3 times. Determined that hybrid buses and elektrobusy can significantly reduce fuel consumption by urban passenger transport route, and improve environmental performance. Im.:7 : Bibliogr.: 9.

Keywords: fuel economy, transport, hybrid bus, elektrobus.

Надійшла до редакції 10.09.2012

УДК 539.3

Ю. Н. КОРЫТКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР И НАПРЯЖЕНИЙ

В статье представлены уравнения состояния ползучести и связанного в ней накопления повреждаемости, показана их применимость для исследований напряженно-деформированного состояния конструкций при радиационной ползучести. Представлены результаты численных исследований выгородки атомного реактора ВВЭР-1000, показано влияние периодического изменения рабочих температур на процессы релаксации напряжений.. Из.: 5. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: выгородка атомного реактора, радиационная ползучесть, температурное распределение, интенсивность напряжений.

Вступление. Многие конструктивные элементы атомной промышленности в период своего длительного срока эксплуатации подвергаются радиационному облучению - это ТВЭЛы, тепловыделяющие сборки, выгородки, элементы трубопроводов и другие. К таким элементам предъявляются повышенные требования безопасности, при этом высокая стоимость проведения экспериментальных исследований способствует развитию расчетных методов оценки долговечности, которые позволяли бы учитывать сложные эксплуатационные факторы. Такими факторами являются радиационное излучение, влияние периодического изменения напряжений в элементах конструкций и периодического изменения рабочих температур.

Анализ последних исследований и литературы. Исследования многих ученых посвящены влиянию радиационного облучения на материал конструктивных элементов атомной промышленности, а также изучению поведения элементов конструкций реакторов, которые работают в условиях радиационного излучения [1-5]. В данной работе представлена модель для проведения анализа длительной прочности конструктивных элементов в условиях радиационной ползучести при совместном действии периодически изменяющихся температур и напряжений, а

© Ю. Н. КОРЫТКО, 2012

также результаты проведенных исследований напряженно-деформированного состояния выгородки атомного реактора ВВЭР-1000 при длительном сроке эксплуатации.

Цель исследования, постановка проблемы. На данный момент разработаны уравнения состояния ползучести и связанного с ней накопления повреждаемости, учитывающие периодический характер действия нагрузок и температур [6, 7]. Для расчетных исследований элементов конструкций, которые работают при высокотемпературном циклическом нагружении, используется система уравнений вида [7]:

$$\begin{aligned}\dot{c}_{ij} &= \frac{3}{2} \frac{g_T(T) g_n(M_k^{\sigma_i}) \sigma_i^{n-1}}{(1-\omega)^m} s_{ij}, \quad c_{ij}(0) = 0, \\ \dot{\omega} &= g_r(M_k^{\sigma_e}) g_T^\omega(T) \frac{(\sigma_e)^r}{(1-\omega)^l}, \quad \omega(0) = \omega_0, \quad \omega(t_*) = 1, \\ g_T(T) &= b \int_0^1 \exp \left(-\frac{Q}{T} \left(1 + \sum_{i=1}^{\infty} M_i^T \sin(2\pi i \xi) \right)^{-1} \right) d\xi, \quad M_i^T = T_i^a / T, \\ g_n(M_k^{\sigma_i}) &= \int_0^1 \left(1 + \sum_{k=1}^{\infty} M_k^{\sigma_i} \sin(2\pi k \xi) \right)^n d\xi, \quad M_k^{\sigma_i} = \sigma_i^{ak} / \sigma_i, \\ g_r(M_k^{\sigma_e}) &= \int_0^1 \left(1 + \sum_{k=1}^{\infty} M_k^{\sigma_e} \sin(2\pi k \xi) \right)^r d\xi, \quad M_k^{\sigma_e} = \sigma_e^{ak} / \sigma_e, \\ g_T^\omega(T) &= d \int_0^1 \exp \left(-\frac{\bar{Q}}{T} \left(1 + M_i^T \sin(2\pi i \xi) \right)^{-1} \right) d\xi, \quad M_i^T = T_i^a / T,\end{aligned}$$

где c_{ij} , \dot{c}_{ij} – компоненты тензора необратимой деформации ползучести и тензора скорости необратимой деформации ползучести соответственно;

$g_T(T)$, $g_T^\omega(T)$ – функции основной и амплитудной составляющих температуры;

$g_n(M_k^{\sigma_i})$, $g_r(M_k^{\sigma_e})$ – функции основной и амплитудной составляющих напряжения;

σ_i – интенсивность напряжений по Мизесу;

n , m , r , l – материальные постоянные;

s_{ij} – компоненты девиатора тензора напряжений;

ω , $\dot{\omega}$ – параметр повреждаемости материала при ползучести и скорость его накопления соответственно;

σ_e – эквивалентные напряжения;

ω_0 – значение параметра повреждаемости при $t = 0$;

t_* – значения времени в момент окончания скрытого разрушения;

$Q = H / R$, $\bar{Q} = \bar{H} / R$, где H – энергия активации процесса ползучести, R – универсальная газовая постоянная, \bar{H} – энергия активации процесса повреждаемости при ползучести;

M_i^T – коэффициент асимметрии периодического изменения температуры;

σ^{ak} , T^a – амплитудные значения периодически изменяющихся составляющих напряжения и температуры;

$M_k^{\sigma_i}$, $M_k^{\sigma_e}$ – коэффициенты асимметрии циклической составляющей напряжения.

Для расчетов радиационной ползучести будем применять приведенные соотношения, которые при значениях $n=2$ и $m=0$ могут быть использованы для ползучести материалов в условиях радиационного облучения [2].

Материалы исследований. В работе [2] представлены результаты исследований напряженно-деформированного состояния выгородки атомного реактора ВВЭР-1000. Выгородка изготовлена из аустенитной нержавеющей стали 08Х18Н10Т. Физико-механические свойства стали 08Х18Н10Т: модуль упругости $E=1.8 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\eta = 0.318$, коэффициент линейного расширения $\alpha = 1.75 \cdot 10^{-5}$ 1/град [3]. Температура материала составляет около 573К на охлаждающих поверхностях и 723К в местах, отдаленных от охлаждающих поверхностей.

Выгородка является одним из важнейших элементов атомного реактора, защитным барьером между активной зоной и корпусом реактора, препятствует выходу нейтронного потока и гамма-излучения из активной зоны, способствует прохождению теплоносителя через активную зону и формированию поля энерговыделений. Выгородка реактора ВВЭР-1000 представляет собой монолитную цилиндрическую конструкцию с внешним диаметром 3470 мм, внутренний диаметр повторяет конфигурацию активной зоны. Конструкция имеет 90 продольных каналов для охлаждения. Общая высота выгородки составляет 4070 мм.

Задача исследования влияния периодического изменения температуры на напряженно-деформированное состояние выгородки может быть рассмотрена в рамках модели плоской деформации, так как из-за достаточно большой высоты конструкции на удалении от торцевых поверхностей будет наблюдаться плоское деформированное состояние. Для уменьшения размерности конечноэлементных расчетов геометрическая и конечноэлементная модели были построены для четверти поперечного сечения выгородки. Количество конечных элементов составило 6034, узлов 3580.

Результаты исследований. В результате решения задачи теплопроводности было получено распределение температуры по сечению выгородки (рис. 1), а также распределение интенсивностей напряжений, вызванное таким температурным распределением (рис. 2).

Результаты проведенных исследований радиационной ползучести показывают, что во время первого этапа эксплуатации выгородки (17 лет) термоупругие напряжения существенно уменьшаются вследствие релаксации. Распределение напряжений после 17 лет работы выгородки представлено на рис. 3.

Выполнены исследования длительной прочности выгородки атомного реактора ВВЭР-1000 с учетом

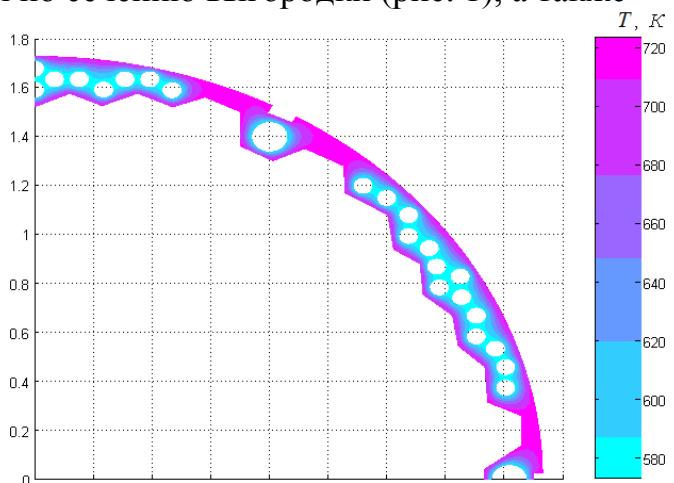


Рис. 1. Распределение температуры по сечению выгородки

изменения рабочих температур. Количество эффективных часов работы реактора в год составляет примерно 7000 часов, оставшиеся 1760 часов температура выгородки равномерна по сечению. Полученные результаты расчетных исследований показали существенное ускорение процессов релаксации напряжений в выгородке по сравнению с результатами, полученными при неизменном по времени температурном распределении.

Так, к концу первого этапа эксплуатации максимальное значение интенсивности напряжений составило 109 МПа (рис. 4) при учете влияния периодического изменения температурного поля и 200 МПа при игнорировании такого влияния.

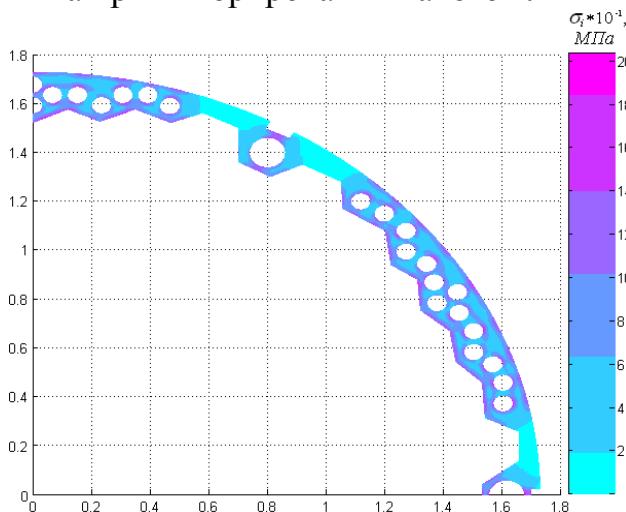


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений по сечению выгородки после 17 лет эксплуатации без учета циклического изменения температур

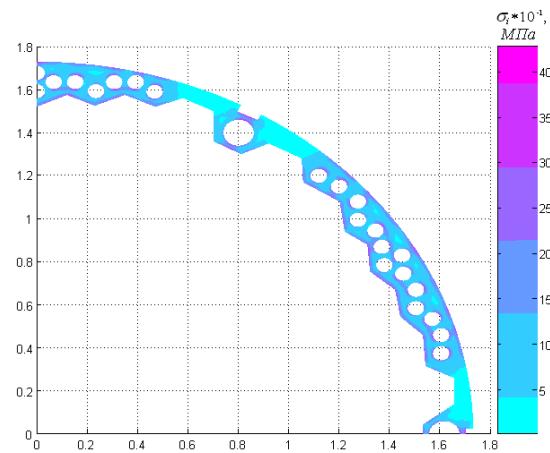


Рис. 2. Распределение интенсивности температурных напряжений

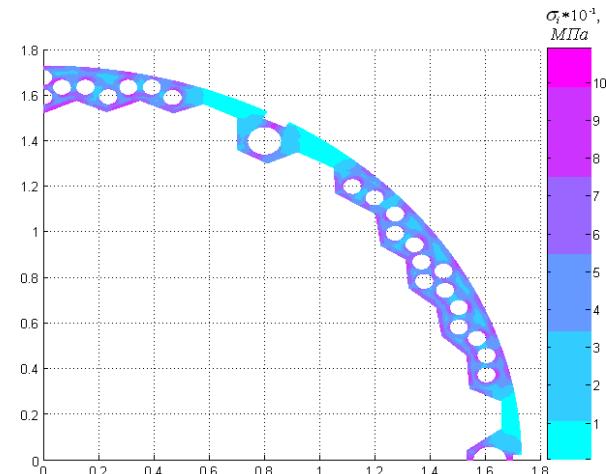


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений по сечению выгородки после 17 лет эксплуатации с учетом циклического изменения температур при 7000 часов эффективной работы реактора в год

Были также проведены исследования циклической радиационной термоползучести, в которых количество эффективных часов работы реактора в год составляло 4380 часов. При этом считалось, что в период эффективной работы реактора температурное поле изменяется от 573К до 723К по сечению выгородки. В оставшееся время температурное распределение равномерно. В этом случае также можно говорить о существенном ускорении процессов перераспределения напряжений по сравнению с таким, где влияние изменения температуры не учитывалось.

На рис. 5 представлено изменение интенсивности напряжений, полученное при использовании различных подходов к учету влияния изменения температуры. Кривая 1 рис. 5 представляет результаты, полученные при использовании предложенной модели исследований при игнорировании влияния изменения температуры на напряженно-деформированное состояние выгородки. Кривая 2 – это результаты, представленные в работе [2] для данной выгородки. Кривая 3 показывает, как релаксировали бы напряжения при 4380 часах эффективной работы реактора в год

с учетом влияния изменения температурного поля. Кривая 4 характеризует изменение интенсивности напряжений при реальном режиме работы реактора (7000 часов эффективной работы в год) с учетом влияния изменения температуры на напряженно-деформированное состояние.

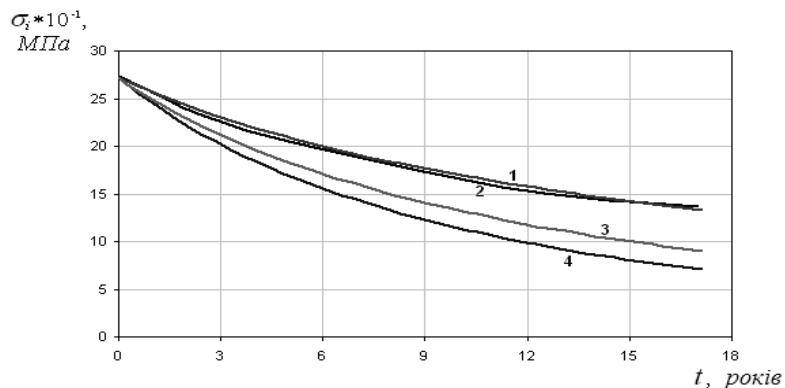


Рис. 5. Изменение интенсивности напряжений в выгородке

Заключение. Полученные результаты показывают, что периодический характер изменения температуры при радиационной ползучести существенно ускоряет процессы перераспределения, в данном случае, релаксации напряжений. Данный эффект при анализе длительной прочности ответственных элементов атомного машиностроения существенно влияет на прогнозируемый срок безопасной эксплуатации, а также на картину напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов атомного машиностроения. Можно также говорить о применимости предложенных подходов анализа ползучести и длительной прочности конструктивных элементов к задачам радиационной ползучести. Эффекты изменения скорости и характера перераспределения напряжений, связанные с учетом периодического изменения воздействующего температурного поля, воспроизводятся в задачах радиационной ползучести, а значит должны учитываться при исследованиях долговечности ответственных элементов конструкций.

Список литературы: 1. Воеводин В. Н. Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов / В. Н. Воеводин, И. М. Неклюдов. - К.: Наукова Думка, 2006. – 376 с. 2. Троянов В. М. Оценка и анализ термомеханического поведения элементов ВКУ реакторов ВВЭР с учетом эффектов облучения / В. М. Троянов, И. М. Лихачев, М. Я. Хмелевский, В. И. Цофин, Н. В. Шарый, В. П. Юрченко, В. К. Шамардин, В. С. Неустроев, В. И. Прохоров // Сборник докладов пятой межотраслевой конференции по реакторному материаловедению, Димитровград, 8-12 сентября 1997 г. – Димитровград, 1998. – Т. 2, часть 1. – С. 3 - 18. 3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с. 4. Шамардин В. К. Оценка и анализ термомеханического поведения элементов ВКУ реакторов ВВЭР с учетом эффектов облучения (обзор экспериментальных результатов) // В. К. Шамардин, В. С. Неустроев, В. И. Прохоров, И. М. Лихачев, В. М. Троянов, М. Я. Хмелевский, В. И. Цофин, Н. В. Шарый, В. П. Юрченко // Сборник докладов пятой межотраслевой конференции по реакторному материаловедению, Димитровград, 8-12 сентября 1997 г. – Димитровград, 1998. – Т. 2, часть 1. – С. 19 - 39. 5. Бирюков О. В. Длительная прочность элементов кассеты насыпного типа для быстрого газоохлаждаемого реактора // О. В. Бирюков, А. А. Золочевский, А. Г. Лаврук, О. К. Морачковский, С. М. Школьный. – М.: ЦНИИ атоминформ, 1985. – 39 с. 6. Бреславський Д. В. Модель циклічної термоповзучості для тіл обертання/ Д. В. Бреславський, Ю. М. Коритко, О. К. Морачковський // Проблемы прочности. – 2011. - №2. – С. 33 – 46. 7. Коритко Ю. М. Розробка методу розрахунку довговічності елементів конструкцій при періодичній зміні температур і навантажень: дис. канд.техн.наук: 05.02.09 / Коритко Юлія Миколаївна. – Харків, 2011. – 206 с.

УДК 539.3

Аналіз напруженено-деформованого стану при радіаційній повзучості з урахуванням впливу періодичної зміни температур та навантажень/ Коритко Ю. М. // Вісник НТУ

У статті наведені рівняння стану повзучості та пов'язаного з нею накопичення пошкоджуваності, показана їх придатність у дослідженнях напружене-деформованого стану конструкцій при радіаційній повзучості. Представлені результати чисельних досліджень вигородки атомного реактору ВВЕР-1000, продемонстрований вплив періодичної зміни робочих температур на процеси релаксації напружень. Іл.: 5. Бібліограф.: 7 назв.

Ключові слова: вигородка атомного реактору, радіаційна повзучість, температурний розподіл, інтенсивність напружень.

UDC 539.3

Analysis of strain-stress state of structural elements under radiation creep and periodically varying temperatures and loading / Korytko Yu. M. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New decisions of modern technologies. - Kharkov: NTU "KhPI". - 2012. - №50(956). – P. 28-33.

Creep-damage constitutive equations are presented in the paper, their adaptability for strain-stress state analysis of structural elements under irradiation creep is shown. The results of numerical investigations of reflection shield of water-cooled power reactor are described. The influence of periodically varying temperatures on processes of stress relaxation was obtained. Im.: 5. Bibliogr.: 7.

Key words: reflection shield of nuclear reactor, radiation creep, temperature distribution, stress intensity.

Поступила в редакцію 20.09.2012

УДК 539.3

Д. В. БРЕСЛАВСЬКИЙ, д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків;

I. В. НАУМОВ, асистент, НТУ «ХПІ», Харків;

O. A. ТАТАРІНОВА, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків;

A. В. КИПЕНСЬКИЙ, д-р. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ», Харків

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ПІДХІД ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОШКОДЖУВАНОСТІ ПРИ УДАРНОМУ МАЛОЦИКЛОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Статтю присвячено опису розрахунково-експериментального методу визначення рівня пошкоджуваності у пластинчатих конструктивних елементах, що обумовлена їх циклічним ударним навантаженням. Наведено стислий опис методу та результати чисельних та експериментальних досліджень. Іл.: 4. Бібліогр.:7 .

Ключові слова: пошкоджуваність, циклічне ударне навантаження, пластина, чисельне моделювання, метод скінченних елементів, експериментальні дослідження.

Актуальність теми. Ударне навантаження конструктивних елементів машин є одним з самих небезпечних факторів, що визначають їхню міцність. У багатьох випадках елементи конструкції зазнають не один, а декілька ударів, які зрештою призводять до руйнування шляхом пробиття. При дуже великому обсягу публікацій, що присвячені теоретичним, розрахунковим та експериментальним навантаженням процесів ударної взаємодії [1, 2], на теперішній час є практично відсутніми роботи у напрямку опису циклічного ударного деформування та руйнування. Одним з найбільш потужних підходів, що застосовується до опису таких процесів, є підхід континуальної механіки пошкоджуваності [3, 4]. В роботі на її базі створено метод аналізу пошкоджуваності у пластинчатих конструктивних елементах, які піддано малоцикловому ударному навантаженню за допомогою індукційно-динамічного

© Д. В. БРЕСЛАВСЬКИЙ, I. В. НАУМОВ, O. A. ТАТАРІНОВА, A. В. КИПЕНСЬКИЙ, 2012

двигуна (ІДД) [5, 6]. В роботі [7] надано опис створеної на базі ІДД експериментальної установки та описано методику досліджень.

Метод визначення пошкоджуваності. Як відомо з експериментів [6, 7], при обмеженому завдяки конструктивним параметрам ІДД значенні сили ударної взаємодії, не завжди вдається зруйнувати тонку пластину з першого ударного навантаження. Отже, має місце повторне, до декількох ударів, чи циклічне ударне навантаження. При кожному ударі в області під ударником виникають напруження, величина яких перевершує границю текучості, та мають місце пластичні деформації.

Опис малоциклових процесів деформування у теперішній час проводять за допомогою підходів континуальної механіки пошкоджуваності [3, 4]. Введемо до розгляду скалярну функцію числа циклів ударного навантаження N – параметр пошкоджуваності $\omega(N, \sigma)$, так, що до початку деформування $\omega(0, \sigma)=0$. Після завершення прихованого руйнування при $N=N_*$ (у випадку, що розглядається, при наскрізному пробитті) $\omega(N_*, \sigma)=1$.

Параметр пошкоджуваності не має прямого фізичного аналога та є мірою оцінювання процесів накопичення в матеріалі дефектів різної фізичної природи, він відіграє роль параметру, який характеризує умови навантаження, дозволяючи прогнозувати показники довговічності при складних умовах на основі експериментальних даних.

Кінетику змінювання параметра пошкоджуваності ω за числом циклів ударного навантаження N будемо описувати за допомогою кінетичного рівняння, яким встановлюється зв'язок між швидкістю змінювання пошкоджуваності в точці та значенням напруження, що діє у неї [3]:

$$\frac{d\omega}{dN} = f(\omega, \sigma). \quad (1)$$

Для того, щоб рівняння (1) було придатним для опису кумулятивного процесу, тобто незворотного зростання пошкоджуваності, є необхідною позитивність його правої частини:

$$f(\omega, \sigma) \geq 0.$$

Відмітимо також необхідність інтегрованості за числом циклів N , який явно входить до виразу, що розглядається, та неперервної залежності від N .

Для конкретизації форми кінетичного рівняння для параметру пошкоджуваності застосуємо гіпотезу щодо його нелінійної залежності від числа циклів. Припускаємо [3], що права частина (1) є добутком двох множників, один з яких залежить тільки від ω , а другий – тільки від σ . Приймемо степеневу форму для функції напружень. В цьому разі кінетичне рівняння при одновісному напруженому стані матиме вигляд

$$\frac{d\omega}{dN} = \frac{D\sigma^k}{(1-\omega)^m}, \quad (2)$$

де D , k , m є константами матеріалу, які мають бути визначеними за кривими його довготривалої ударної міцності.

Для визначення значень констант, що входять до рівняння (2), проінтегруємо його, розділяючи змінні:

$$\int_0^\omega (1-\omega)^m d\omega = \int_0^N D\sigma^k dN.$$

Після інтегрування отримуємо значення параметра пошкоджуваності:

$$\omega(N) = 1 - \left(1 - D\sigma^k(m+1)N\right)^{\frac{1}{1+m}}. \quad (3)$$

В момент закінчення руйнування $N = N_*$ та $\omega(N_*) = 1$. З формули (3) визначається число циклів до руйнування

$$N_* = \frac{1}{D\sigma^k(m+1)}. \quad (4)$$

За наявності результатів експериментів на довготривалу міцність матеріалу, що розглядається, при трьох рівнях напружень σ , розв'язанням системи трьох алгебраїчних рівнянь виду (4) отримують значення констант D, k, m .

У випадку складного напруженого стану співвідношення типу (2), (4) записують для еквівалентних напружень σ_e :

$$\frac{d\omega}{dN} = \frac{D\sigma_e^k}{(1-\omega)^m}, \quad (5)$$

$$N_* = \frac{1}{D\sigma_e^k(m+1)}. \quad (6)$$

При малих швидкостях деформування руйнування носить в'язкий характер, тому як еквівалентне напруження за критерієм Мизесу приймається за такий інваріант тензору напружень, як інтенсивність σ_i [3].

На жаль, на сьогодні в відповідній літературі не знайдено методики проведення одновісних експериментів на малоциклову ударну довготривалу міцність для визначення констант, що входять до рівняння (5). У зв'язку з цим для їхньої ідентифікації пропонується наступний розрахунково-експериментальний підхід.

В роботі розглянуто удар по тонкостінному елементу типу круглої пластини, виконаної з алюмінієвого сплаву та вкритою сплавом заліза. При ударі виникають незворотні пластичні деформації. Реалізуємо три чи дві різні швидкості удару. В останньому випадку обмежуємося двома константами у рівнянні (5), приймаючи $k=m$. Задачу розв'язуємо чисельно, за допомогою алгоритмів методу скінченних елементів (МСЕ), проводячи необхідну оцінку збіжності розв'язків. Для різних швидкостей ударного навантаження знаходимо поля напружень в області удару, максимальне значення напруження та відповідну йому інтенсивність σ_i .

Після цього проводимо експериментальне вивчення ударної малоциклової довговічності при різних швидкостях удару, отримуємо значення числа циклів до руйнування N_* , а далі розв'язанням системи трьох чи двох лінійних алгебраїчних рівнянь знаходимо значення констант D, k, m .

Далі отримане кінетичне рівняння можливо використовувати для розрахунків пластин з матеріалу, що розглядається, в широкому діапазоні змінювання їхніх геометричних характеристик, типів закріплення та навантаження. Для цього розв'язується пружно-пластична задача удару по пластині, яка відповідає умовам навантаження першого ударного циклу. З застосуванням визначеного в зоні удару максимального значення інтенсивності напружень σ_i за формулою типу (3) знаходиться значення параметру пошкоджуваності на кожному циклі чи число циклів до руйнування за формулою (6). Така методика дозволяє найбільш точно врахувати особливості ударного деформування та руйнування, таких як тип ударника, діапазон змін швидкостей та напружень тощо.

Експериментальні випробування та чисельне моделювання пробиття круглих

пластин з конкретними обмеженнями за величиною електричної напруги на конденсаторі перетворювача ІДД, яка не може перевищувати 440-450В, показало, що за один цикл ударного навантаження неможливо їх повністю пробити.

Визначення констант для матеріалу пластин. Спочатку розглянемо задачу чисельного моделювання першого циклу ударного експерименту на зразках, вирізаних з самих магнітних дисків.

Розглянемо квадратну пластину зі стороною 30 мм та товщиною 1,6 мм, жорстко закріплена по всьому контуру. Пластина знаходиться на основі, що не деформується, виготовлена з ортотропного матеріалу – два зовнішні шари - сплав заліза, середній – алюмінієвий сплав.

Для отримання чисельного розв’язку побудовано скінченноелементну (СЕ) модель. Обрано тривимірну постановку задачі: 40 елементів на зовнішньому контурі поверхні та 4 елемента по товщині, всього СЕ сітка складається з 6400 елементів та 8405 вузлів.

По центру пластини вдаряє циліндр, що не деформується, масою 0,42911 кг та діаметром 4 мм. Після удару циліндр відскакує. Розв’язується контактна задача ударної взаємодії. Контакт діє на протязі усього часу розрахунку. Під пластиною розміщено жорстко закріплена підложка з матеріалу, що не деформується. Окрім контакту ударника з пластиною враховується контакт пластини з підложкою.

Розглянуто три подібні задачі, що відрізняються значеннями швидкості ударника, яка була задана в експериментах: 1.8, 2.5 та 5.2 м/с. При ударному навантаженні в кожному з трьох випадків частка елементів під ударником руйнується, а у решті в зоні удару виникають пластичні деформації. На рис. 1 показано розподілення інтенсивності напружень у зразку при ударі в перший момент контакту у випадку швидкості удару 1.8 м/с. Як видно з рисунку, в елементах, що знаходяться під ударником, напруження перевищують границю міцності 160 МПа.

На рис. 2 наведено графік змінювання у часі інтенсивності напружень в одному з СЕ, розташованих під ударником. Видно, що після максимального значення напруження зменшуються, набуваючи значень 110-112 МПа.

Аналогічні чисельні розрахунки було виконано й для двох інших швидкостей удару та знайдені остаточні значення інтенсивності напружень, які характеризують цикл ударного навантаження: для швидкості 2.5 м/с – 132 МПа, для 5.2 м/с – 159 МПа.

Отже, проведені розрахунки надають змогу побудови кривої довготривалої малоциклової ударної міцності (рис. 3).

Також дані з кривої довготривалої малоциклової ударної міцності були застосовані для визначення констант, що

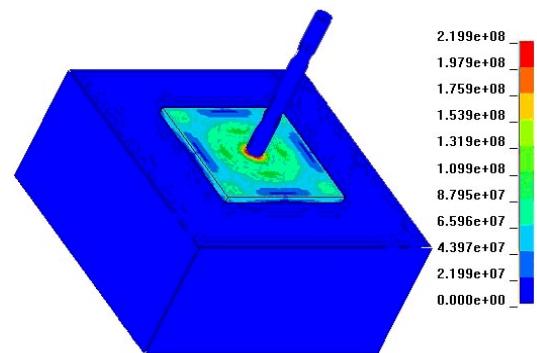


Рис. 1. Розподілення інтенсивності напружень у зразку при ударі зі швидкістю 1,8 м/с

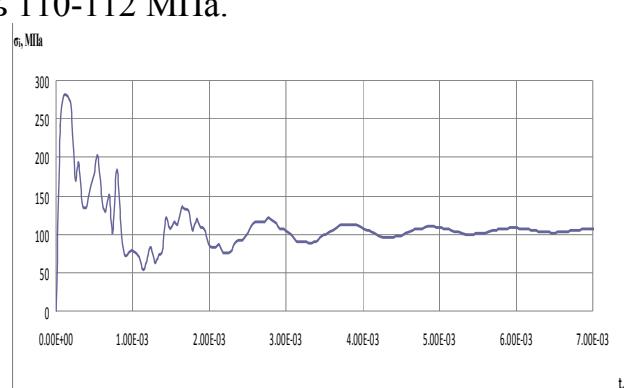


Рис. 2. Змінювання за часом значення інтенсивності напружень в СЕ під ударником

входять до кінетичного рівняння для параметра пошкоджуваності типу (5). Вони виявились рівними $m = 3.76$, $D = 6.88 \cdot 10^{-10} (\text{МПа})^{-m}$.

Для перевірки даних, що можливо одержати за допомогою даного рівняння, з застосуванням формули (6) було отримано значення числа циклів до руйнування для випадку швидкості 2,5 м/с. Для значення інтенсивності напружень 132 МПа воно склало 3.23 цикла, на рис. 3 його позначено символом «+». Відмінність між чисельним та експериментальним значеннями для цього рівня напружень складає 19%, що може вважатись припустимим для інженерних розрахунків.

Розрахунки пошкоджуваності в пластині. Тепер перейдемо до розрахунків з застосуванням отриманого кінетичного рівняння довготривалої малоциклової ударної міцності пластин.

Розглянемо деформування та руйнування круглої пластини при швидкості руху ударнику 2.5 м/с, яка була реалізована в експерименті, описаному в роботі [7]. Для використання методики визначення числа циклів до руйнування за формулою (6) проведено розрахунок напружено-деформованого стану пластини при першому ударі. Результати розрахунку свідчать, що певна кількість СЕ під ударником руйнується, що відповідає експерименту – на першому циклі в місті удару було зафіковано вм'ятину. Остаточне значення інтенсивності напружень у районі удару, визначене для моменту припинення коливань внаслідок удару, склало 107 МПа.

Цю величину було застосовано для аналізу числа циклів до руйнування. Розрахунки дають значення 7.12 циклів, що практично співпадає з експериментально визначенім числом 7.

На рис. 4 наведено графік змінювання параметру пошкоджуваності в місті дії ударника. Отже, проведене порівняння свідчить про цілком задовільний збіг експериментальних даних та результатів, отриманих за формулами (3)-(6). Це дозволяє зробити висновок щодо припустимості застосування підходів континуальної механіки пошкоджуваності до розрахунків малоциклової ударної довготривалої міцності пластинчатих конструктивних елементів.

Висновки. В статті наведено опис розрахунково-експериментального підходу до аналізу пошкоджуваності, яка виникає у конструктивних елементах типу круглих пластин при їхньому циклічному ударному навантаженні. Показано, що при мінімальної кількості обчислювальних експериментів та експериментів з ударного

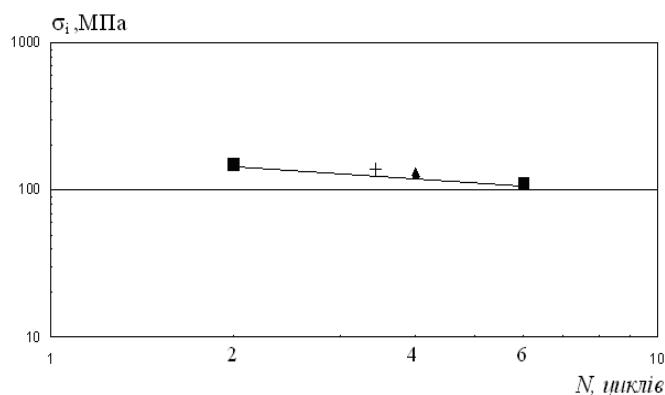


Рис. 3. Крива довготривалої малоциклової ударної міцності матеріалу пластин

значенням для цього рівня напружень складає 19%, що може вважатись

припустимим для інженерних розрахунків.

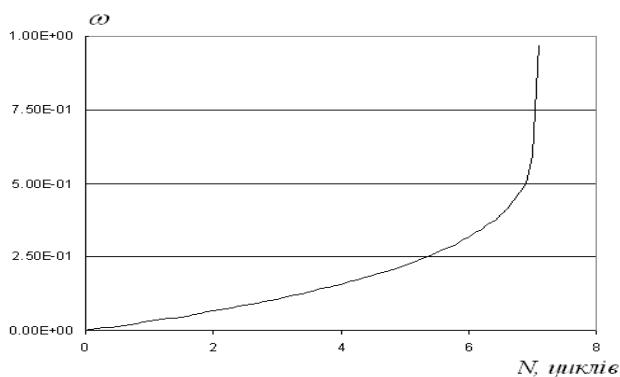


Рис. 4. Змінювання за числом циклів параметру пошкоджуваності у місті руйнування

навантаження, створений підхід надає можливість визначати параметри в кінетичному рівнянні для параметру малоциклової ударної пошкоджуваності та застосовувати його в практичних розрахунках.

Список літератури: 1. *Field J. E. Review of experimental techniques for high rate deformation and shock studies / J. E. Field, S. M. Walley, W. G. Proud, H. T. Goldrein, C. R. Siviour.* // Int. J. Imp. Eng. - 2004. - Vol. 30. - P. 725–775. 2. *Goldsmith W. Non-ideal projectile impact on targets / W. Goldsmith* // Int. J. Impact Eng., - 1999. - Vol. 22. - № 23. - P. 95-395. 3. *Lemaitre J. Mechanics of solid materials / J. Lemaitre, J.-L. Chaboche.* - Cambridge: University press, 1994. -556 p. 4. *Chaboche J.-L. Damage Mechanics./J.-L. Chaboche* // In Comprehensive Structural Integrity, Pergamon Press. - 2002. - Vol. 2. - P.213-284. 5. *Болюх В. Ф. Лінійні електромеханічні перетворювачі імпульсної дії.* / В. Ф. Болюх, В. Г. Данько –Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – 260 с. 6. *Наумов И. В. Деформирование и разрушение пластин при нагружении цилиндрическим ударником / И. В. Наумов, В. Ф. Болюх, Д. В. Бреславский* // Механіка та машинобудування. – Харків. - 2010. - №1. – С. 207-216. 7. *Breslavsky D. Numerical and experimental investigations of fracture in thin-walled structures at impact loading./ D. Breslavsky, I. Naumov, A. Onyshchenko* // Nonlinear dynamics - 2010: proceedings of the Third International Conference, September 21-24, 2010. – Kharkov. - 2010. – P. 278-283.

УДК 539.3

Расчетно-экспериментальный подход для анализа поврежденности при ударном малоциклическом нагружении / Бреславский Д. В., Наумов И. В., Татаринова О. А., Кипенский А. В. // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. № 50(956). – С. 33-38

Статья посвящена описанию расчетно-экспериментального метода определения уровня поврежденности в пластинчатых конструктивных элементах, обусловленной их циклическим ударным нагружением. Приведено краткое описание метода и результаты численных и экспериментальных исследований. Из.: 4. Библиогр.: 7.

Ключевые слова: повреждаемость, циклическое ударное нагружение, пластина, численное моделирование, метод конечных элементов, экспериментальные исследования.

UDC 539.3

Numerical and experimental approach for damage analysis at impact low cycle loading/ Breslavsky D. V., Naumov I. V., Tatarinova O. A., Kipensky A. V. // Bulletin of NTU «KhPI». Subject issue: New decisions of modern technologies. - Kharkov: NTU «KhPI». – 2012. - № 50(956).. – Р. 33-38.

The paper is devoted to the description of the numerically-experimental method for determination of the damage levels in plate structural members, which is caused due to impact cyclic loading. The brief description of the method and results of numerical and experimental investigations are given. Im.: 4. Bibliogr.: 7.

Keywords: damage, cyclic impact loading, plate, numerical simulation, Finite Element Method, experimental investigations.

Надійшла до редакції 28.09.2012

УДК 681.324: 621.3.049.77

C. M. ПОРОШИН, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків;
C. Г. КОТЕНКО, асп., НТУ «ХПІ», Харків;
M. O. МОЖАЄВ, асп., НТУ «ХПІ», Харків

ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ ІМОВІРНОСНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАФІКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Проаналізовано особливості функціонування сучасних інформаційних систем і телекомунікаційного трафіку в них. Проведено моделювання високоскоростного мережевого трафіку з урахуванням їх фрактальної структури. Запропоновано нові прийоми асимптоматичного аналізу "важких" хвостів розподілів моделей реального трафіку. Іл.: 0. Бібліогр.: 10. назв.

Ключові слова: телекомунікаційні системи, фрактальні структури, "важкі" хвости

Постановка проблеми

В даний час значно зросла кількість різноманітних надзвичайних ситуацій, стихійних лих, виникнення яких може бути викликано як природними факторами, так і діяльністю людини. В якості прикладу можна навести і землетрусу і цунамі в Південно-Східній Азії, урагани в Північній і Центральній Америці, численні лісові пожежі і багато іншого. В основному причинами цих лих були природні стихії, а й людина своєю життєдіяльністю також здатна завдати значної шкоди природі, а також умовам життя людства. Тому виникає нагальна потреба у створенні нових інформаційних систем попередження про надзвичайні ситуації, а також розвиток та удосконалення сучасних. Але до таких систем пред'являються дуже високі вимоги: оперативність, висока вірогідність і безперебійність зв'язку та інформаційного обміну. Крім того, різко зросли обсяги інформації, які необхідно передавати для прогнозування нештатних ситуацій. Але якість функціонування телекомунікаційних систем, в тому числі і які є складовою частиною інформаційної системи оповіщення залежить від того наскільки правильно обрані моделі обслуговування та процедури розподілу телетрафіка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При побудові моделі обслуговування основним завданням є вибір об'єкта трафікового управління. В області трафікового моделювання, основані на реальних вимірах окремих об'єктів, проведено багато досліджень [1-7], які показали, що реальні трафіки в мережах з високою інтенсивністю і швидкістю передачі даних задовільняють властивостям фрактальності або масштабної інваріантності щодо їх статистичних характеристик першого і другого порядку. При такому мережевому трафіку можна зіставити стохастичні процеси з властивістю масштабної інваріантності, яка виникає при агрегування значного числа точкових відліків, що дозволяє використовувати методи фрактального аналізу. Але основними характеристиками властивостями будь-якого фрактального процесу є його довготривала залежність, викликана тим, що коефіцієнт кореляції затухає повільно (гіперболічно), а також те, що такий процес описується аналітично як розподіл з "важкими"

хвостами, тобто цей розподіл можна представити у вигляді:

$$P[X > z] \sim cx^{-\alpha}, x \rightarrow \infty,$$

де $0 < \alpha < 2$ називається індексом хвоста або параметром форми, позитивна константа. Такий розподіл загасає значно повільніше, ніж, наприклад, експоненційний або гаусівський розподіли, які мають експоненціально спадаючий хвіст. В даний час для моделювання фрактального трафіку використовуються розподіли Парето, Вейбула, логонормальне, гамма розподіл і розподіл Бура, для яких характерна наявність "важких" хвостів. Це викликало підвищений інтерес до дослідження перерахованих розподілів і їх властивостей в класичних моделях [8, 9]. Перехід до більш широкого класу моделей, що використовуються при аналізі реальних телекомуникаційних трафіків, вимагає нових методів дослідження розподілів з "важкими" хвостами, що і є основним завданням даної статті.

Постановка завдання на дослідження

У даній статті за допомогою індексів випадкових величин досліджується багатоканальна система масового обслуговування $G|G|m|\infty$, яка є математичною моделлю телекомуникаційної системи оповіщення про надзвичайні ситуації.

Основний матеріал

Розглянемо систему масового обслуговування $G|G|m|\infty$ з m каналами, рекурентним вхідним потоком $t_0 = 0 \leq t_1 = t_0 + \xi_0 \leq t_2 = t_1 + \xi_1 \dots$ і часом обслуговування η_0, η_1, \dots . Припустимо, що випадкові послідовності, незалежні і складаються з незалежних і однаково розподілених випадкових величин з функціями розподілів

$$P(\xi_0 < t) = F_1(t), \quad P(\eta_0 < t) = F_2(t), \quad (1)$$

Причому $F_1(0) = F_2(0)$.

Розглянемо m -мірний марковський ланцюг $W_n = (\omega_{n,1}, \dots, \omega_{n,m})$, $n \geq 0$, в якій $\omega_{n,i}$ - інтервал між моментом часу і моментом часу t_n , коли звільняється i каналів від 0-ої, 1-ої, ..., $n-1$ -ої заявок вхідного потоку. Такий марковський ланцюг вперше був введений Кіфером і Вольфовичем [10], які показали, що справедливо рекурентне співвідношення:

$$W_{n+1} = R((\omega_{n,1} + \eta_n - \xi_n)^+, (\omega_{n,2} - \xi_n)^+, (\omega_{n,3} - \xi_n)^+), \quad n \geq 0, \quad W_0 = (0, \dots, 0) \quad (2)$$

де $R = R(v_1, \dots, v_m)$ - оператор упорядкування компонентів вектора (v_1, \dots, v_m) так, щоб, $v_1 \leq \dots \leq v_m$, $a^+ = \max(0, a)$. Введемо в розгляд допоміжний марковський ланцюг $V_n = (v_{n,1}, \dots, v_{n,m})$, $n \geq 0$, обумовлений рекурентним співвідношенням:

$$V_{n+1} = R(v_{n,1} + \eta_n, v_{n,2}, \dots, v_{n,m}), \quad n \geq 0, \quad V_0 = (0, \dots, 0) \quad (3)$$

Використовуючи метод математичної індукції можна довести що:

$$\left(v_{n,i} - \sum_{i=0}^{n-1} \xi_i \right) \leq \omega_{n,i} \leq v_{n,i}, \quad 0 < n, \quad 1 \leq i \leq m. \quad (4)$$

З формули (3) легко отримати, що при $n \geq 0$:

$$\begin{aligned} v_{n+1,i} &= \max(v_{n,i}, \min(v_{n,1} + \eta_n, v_{n,i+1})) \quad 1 \leq i \leq m, \\ v_{n+1,m} &= \max(v_{n,m}, v_{n,1} + \eta_n) \end{aligned} \quad (5)$$

Проведемо оцінку індексів випадкової величини X з функцією розподілу F , які можна визначити як:

$$ind_*(X) = \sup \{r : EX^r < \infty\}; \quad (6)$$

$$ind^*(X) = \sup\{a : E \exp(X^a) < \infty\}. \quad (7)$$

Враховуючи вищезазначені зауваження, можна скористатися індексами випадкової величини, яка розподілена на інтервалі, які визначаються як:

$$ind^*(X) = ind_*(X^+), \quad (8)$$

$$ind_a(X) = ind_a(X^+), \quad (9)$$

де $X^+ = \max(0, X)$.

Таким чином, визначені нами індекси дозволяють описувати властивості правого хвоста розподілу випадкової функції.

Продовжимо аналіз хвостів розподілів стохастичної величини за допомогою індексів випадкової величини. Якщо, як ми припустили, функція розподілу випадкової величини $X - F$, то справедливо очевидне співвідношення $\bar{F} = 1 - F$. Тоді можна досить просто довести, що будуть справедливі і такі два висловлювання:

1) Якщо $\bar{F} = L(x)x^{-\alpha}$ (при деякому $\alpha > 0$), де $L(x)$ - повільно змінна функція, то,

$$ind_*(X) = \alpha; \quad (10)$$

2) Якщо $\bar{F} = \exp(-c(x)x^\alpha)$ (при деякому $c(x) \rightarrow c > 0, x \rightarrow \infty$), то

$$ind^*(X) = \alpha \quad (11)$$

У результаті використання співвідношень (6) - (11) до виразів (2) - (5) можна отримати оцінки поведінки функцій розподілу випадкових величин $X, Y, \omega_{n,i}, \eta_n, v_{n,i}$:

$$ind_*(\min(X, Y)) \geq ind_*(X) + ind_*(Y), \quad (12)$$

$$ind^*(\min(X, Y)) \geq \max(ind^*(X), ind^*(Y)), \quad (13)$$

$$ind_*(XY) \geq \min(ind_*(X), ind_*(Y)), \quad (14)$$

$$ind_*(cX) = ind_*(X), \quad c > 0, \quad (15)$$

$$\frac{1}{ind^*(XY)} \leq \frac{1}{ind^*(X)} + \frac{1}{ind^*(Y)}, \quad (16)$$

$$ind_*(\omega_{m,i}) = (m-i+1)ind_*(\eta_0), \quad 1 \leq i \leq m \quad (17)$$

$$ind^*(v_{m,i}) = ind^*(\eta_0), \quad 1 \leq i \leq m \quad (18)$$

Використовуючи отримані в результаті досить простих перетворень співвідношення (12) - (18) можна довести справедливість пропонованих нижче тверджень:

$$ind_*(\omega_{n,i}) = (m-i+1)ind_*(\eta_0), \quad 1 \leq i \leq m \leq n \quad (19)$$

$$ind^*(\omega_{m,i}) = ind^*(\eta_0), \quad 1 \leq i \leq m \leq n \quad (20)$$

Отримані співвідношення (19) і (20) дозволяють враховувати корпоративний характер процесу поширення телекомунікаційного трафіку в багатоканальних мережах, аналогічних системам масового обслуговування типу $M|M|n|\infty$ (одержуваних шляхом об'єднання одноканальних систем типу $M|M|1|\infty$).

Розглянемо телекомунікаційну мережу в якій випадкову величину, що характеризує кількість правильно переданих пакетів інформації в випадкові інтервали часу t_i можна представити у вигляді послідовності:

$$S_0 = x, \quad S_{n+1} = \xi_n S_n + (1 - \eta_{n+1})S_n, \quad n \geq 0, \quad (21)$$

де S_n - кількість пакетів, переданих в інтервал часу, ξ_n - кількість пакетів, що передаються в мережі у довільний момент часу, нормоване на кількість пакетів в попередній момент. η_{n+1} - частка пакетів, від їх загальної кількості, які не надійшли в

$n+1$ інтервал часу. Якщо припустити, що послідовності, ξ_1, \dots, ξ_n ; η_1, \dots, η_n складаються з незалежних і однаково розподілених випадкових величин. У кожній із зазначених послідовностей випадкові величини мають спільні функції розподілу і $P(\xi > 0) = 1$.

Позначимо елементи випадкових послідовностей як:

$$X_n = -(1 - \eta_n)S_{n-1}, \quad Y_n = \xi_{n-1}^{-1}, \quad n \geq 1. \quad (22)$$

Тоді модель телекомунікаційного трафіку може бути записана у вигляді:

$$S_0 = x, \quad S_n = Y_n^{-1}S_{n-1} - X_n, \quad n \geq 1. \quad (23)$$

Розглянемо функцію (ймовірність втрати всіх пакетів інформації в телекомунікаційній мережі):

$$\psi(x, n) = P \left(\min_{0 \leq k \leq n} S_k < 0 \right), \quad n \geq 0 \quad (24)$$

Очевидно, що функція $\psi(x, n)$ не зростає по $x \in [0, \infty)$ і не убиває по $n \geq 0$.

За визначенням, де $\psi(x, n) = P(U_n > x)$, где $U_0 = 0$.

Визначимо інший марковський ланцюг:

$$V_0 = 0, \quad V_n = Y_n \max\{0, X_n + V_{n-1}\}, \quad n \geq 1. \quad (25)$$

Тоді для такого ланцюга справедливе співвідношення:

$$\psi(x, n) = P(V_n > x), \quad n \geq 0. \quad (26)$$

Але вираз (26) дозволяє узагальнити результати, отримані для одноканальної системи масового обслуговування $G|G|1|\infty$ на багатоканальну модель системи масового обслуговування $G|G|m|\infty$, яка досить адекватно описує існуючі телекомунікаційні системи. Аналізуючи вище написане можна зробити висновок, що у випадку, коли дві випадкові величини X_0, Y_0 мають розподіл з "важкими" хвостами, то при заданій вимозі тяжкості хвостів розподілу, визначальним є більш важкий з цих хвостів. Analogічно, при заданій вимозі легкості хвоста визначальним є хвіст розподілу випадкової величини Y_0 .

Застосуємо запропоновані оцінки, поведінки хвостів функцій розподілу випадкових величин, для розподілів, які використовуються для моделювання трафіку, що володіє фрактальним характером. Найбільш придатним, як відомо є сімейство розподілів Парето, функцію розподілу якого можна уявити, як:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < k \\ 1 - (k/x)^a, & \text{при } k \leq x < \infty \end{cases}, \quad (27)$$

При $a > 1, k > 0$.

Параметром тяжкості в цьому розподілі вважається a . Виділимо в (27) розподіл, параметризовані від a . Для цього представимо:

$$R_0(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ 0, & 0 < x < \infty \end{cases}, \quad (28)$$

$$R_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ d, & x = 1, 0 \leq d \leq 1 \\ 0, & 1 \leq x \leq \infty \end{cases}. \quad (29)$$

Тоді для розподілу Парето (27) справедливі наступні граничні співвідношення:

$$\lim_{a \rightarrow a_*} F(x) = R_0(x), \quad (30)$$

$$\lim_{a \rightarrow a^*} F(x) = R_1(x), d = e^{-1}, \quad (31)$$

$$\lim_{a \rightarrow a_*} \int_0^\infty |F(x) - R_1(x)| dx = 0, \quad (32)$$

де $a_* = 1$, $a^* = \infty (a_* < a < a^*)$.

Аналогічні співвідношення можна отримати і для розподілу Вейбулла і логонормального розподілу. Таким чином, при асимптотичному аналізі розподілів з "важкими" і "надважкими" хвостами встановлено, можна отримати імовірнісні оцінки передачі пакетів сигналів і їх втрати на кінцевих інтервалах часу. Це дозволяє створити довгостроковий прогноз телекомунікаційного трафіку в мережі оповіщення про надзвичайні ситуації, використання якого дозволить генерувати віртуальні з'єднання оптимальним чином.

Висновки

В результаті моделювання телетрафіка, як системи масового обслуговування (одноканальної і багатоканальної) проведено асимптотичний аналіз розподілів з "важкими" і "надважкими" хвостами. Отримані співвідношення для індексів випадкових величин дозволяє отримати достовірні оцінки ймовірності передачі і втрати пакетів в телекомунікаційній мережі. Для випадку двохпараметричного сімейства розподілів встановлено, що хвости розподілу є "надважкими", що при фіксованому математичному очікуванні втрати пакетів двохпараметричного сімейства розподілів перетворюється в однопараметричне. Устримління залишився параметра до одного з його граничних значень приводить до появи поняття "надважкого хвоста розподілу втрати пакетів". Для "надважких" хвостів розподілу втрат пакетів отримані нові асимптотичні формули.

Список літератури: 1. Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Телекомунікаційні Мережі. - К.: Техніка, 2001. - 392 с. 2. Столлінгс В. Сучасні комп'ютерні мережі. - С.-Пб.: Пітер, 2003. - 784 с. 3. Кучук Г. А., Можаєв О. О., Воробйов О. В. Аналіз та Моделі самоподібного трафіка // Авіаційно-космічна техніка і технологія. - 2006. - Вип. 9 (35). - С. 173-180. 4. Leland W., Taqqu M., Willinger W. On the self-similar nature of IP-traffic // IEEE / ACM Transactions on Networking. - 1997. - № 3. - Р. 423 - 431. 5. Zaborovsky V., Yegorov S. Traffic models and Management in High-Speed Networks // Proceedings of International Conference on Informatics and Control. - St.-P. - 1997. - Р. 231 - 240. 6. Порошин С. М., Можаєв М. А., Завизиступ Ю. Ю. Исследование взаимодействия потоков данных в гетерогенных сетях // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна Серія "Радіофізика та електроніка", випуск 15, 2010 С. 7. С. М.Порошин, В. Е. Кузьменко, М. А.Можаєв. Оценка параметров нелинейной динамической модели гетерогенной сети // Системи обробки інформації Збірник наукових праць.-Харків: ХУ ПС.-2011р.- Вип.5(95).- С.209 -2128. 8. Кучук Г. А., Можаєв О. О., Горобець О. В. Метод агрегування фрактального трафіка // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. - 2006. - № 6 (18). - С. 181 - 188. 9. Котенко С. Г., Можаєв М. О., Порошин С. М. Побудова екстраполюючої моделі процесу функціонування телекомунікаційних систем // «Східно-Європейський журнал передових технологій», Х.: 2012, випуск № 4(58) . С62-65. 10.Kifer J., Wolfowitz J. On the theory of queues with many servers // Trans. Amer. Math. Soc. 1955. Vol.78. P147-161

УДК 681.324: 621.3.049.77

**Характерные особенности вероятносного распределения трафика
телекоммуникационных сетей специального назначения/ С. М. Порошин, С. Г.Котенко, М.**

А. Можаев // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - № 50(956).. С.39-44

Проанализированы особенности функционирования современных информационных систем и телекоммуникационного трафика в них. Проведено моделирование высокоскоростного сетевого трафика с учетом их фрактальной структуры. Предложены новые приемы асимптотического анализа "тяжелых" хвостов распределений моделей реального трафика. Из.: 0. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, фрактальные структуры, "тяжелые" хвосты

UDK 681.324: 621.3.049.77

Particularities of traffic probabilistic distribution in special telecomunication networks/ M.Poroshin, S.Kotenko, M.Mozhaiev // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - № 50(956). P.39-44.

Were analyzed the functioning of modern information systems and telecommunications traffic in them. Modeling of enhanced programming network traffic based on their fractal structure. Were propose new methods of asymptotic analysis of "heavy" tails of distribution models traffic. Im.:0 : Bibliogr.: 10.

Keywords: telecommunications systems, fractal structures, "heavy" tails

Надійшла до редакції 10.09.2012

УДК 004.942

М. А. ГРИНЧЕНКО, канд. техн. наук, ст. викл., НТУ «ХПІ», Харків

ПРИКЛАДНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗВИТКУ РЕГІОНАЛЬНИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

У роботі розроблено прикладну інформаційну технологію для прогнозування процесів розвитку регіональних макроекономічних систем, яка об'єднала підхід на основі методу системної динаміки і макропоказників системи національних рахунків, що дозволило підвищити наукову обґрунтованість сформованого прогнозу. Іл.: 2. Бібліогр.:5. назв.

Ключові слова: макроекономічна система, прогнозування, імітаційна модель, інформаційна технологія.

Вступ. Постановка задачі

Довгострокове прогнозування розвитку макроекономічних систем (МЕС) є тим інструментом, який дозволяє оцінити наслідки дій, здатних вплинути на стійкість процесів розвитку економіки, сприяє своєчасному знаходженню управлінських рішень, є основою для розробки стратегічних планів і програм розвитку як на рівні державного управління в цілому, так і на рівні регіонів.

Інформатизація суспільства, сучасний рівень розвитку комп'ютерних технологій обумовлюють впровадження в практику державного управління сучасні інформаційні технології. Обласні державні адміністрації активно використовують в своїй практиці різноманітні прикладні інформаційні технології підтримки прийняття рішень.

Основні проблеми прогнозування розвитку МЕС пов'язані з розробками Дж. Форрестера, Д. Медоуза, О. Г. Осаулена, В. М. Геєца, М.І. Долішнього, Д. Л. Андріанова та інших вчених [1-2]. Аналіз стану прогнозування показав, що у першу чергу увага приділяється моделюванню та прогнозуванню МЕС на рівні держави. Але регіональна МЕС має певні особливості: територія регіону є часткою території

© М. А. ГРИНЧЕНКО, 2012

держави, сфери виробництва та споживання формуються шляхом перерозподілу ресурсів в рамках держави. Ці особливості не в повній мірі дозволяють використовувати існуючі моделі для прогнозування процесів розвитку РМЕС. Отже, розробка моделей і методів прогнозування процесів розвитку РМЕС в рамках єдиної інформаційної технології управління на регіональному рівні є завданням, що має незаперечну значущість та яке визначило напрямок досліджень роботи.

Метою роботи є підвищення обґрунтування результатів прогнозування процесів розвитку РМЕС, шляхом розробки прикладної інформаційної технології.

Розробка системи прогнозування на основі імітаційної моделі розвитку РМЕС

В роботі представлена узагальнена структура системи моделювання і прогнозування, що включає наступні підсистеми: аналізу та вибору системи показників для РМЕС, прогнозування процесів розвитку РМЕС на основі методу системної динаміки, моделювання та прогнозування макропоказників системи національних рахунків, формування корегуючих функцій впливу на процеси розвитку РМЕС, формування вихідних документів.

Узагальнена структура приведена на рис.1.

В рамках підсистеми моделювання процесів розвитку РМЕС реалізована імітаційна модель процесів розвитку РМЕС (ІМПР РМЕС). Змінні стану моделі Форрестера розширені додатковими змінними: інтелектуальний капітал суспільства, доля інтелектуального капіталу в сільському господарстві, валовий регіональний продукт (ВРП) [3].

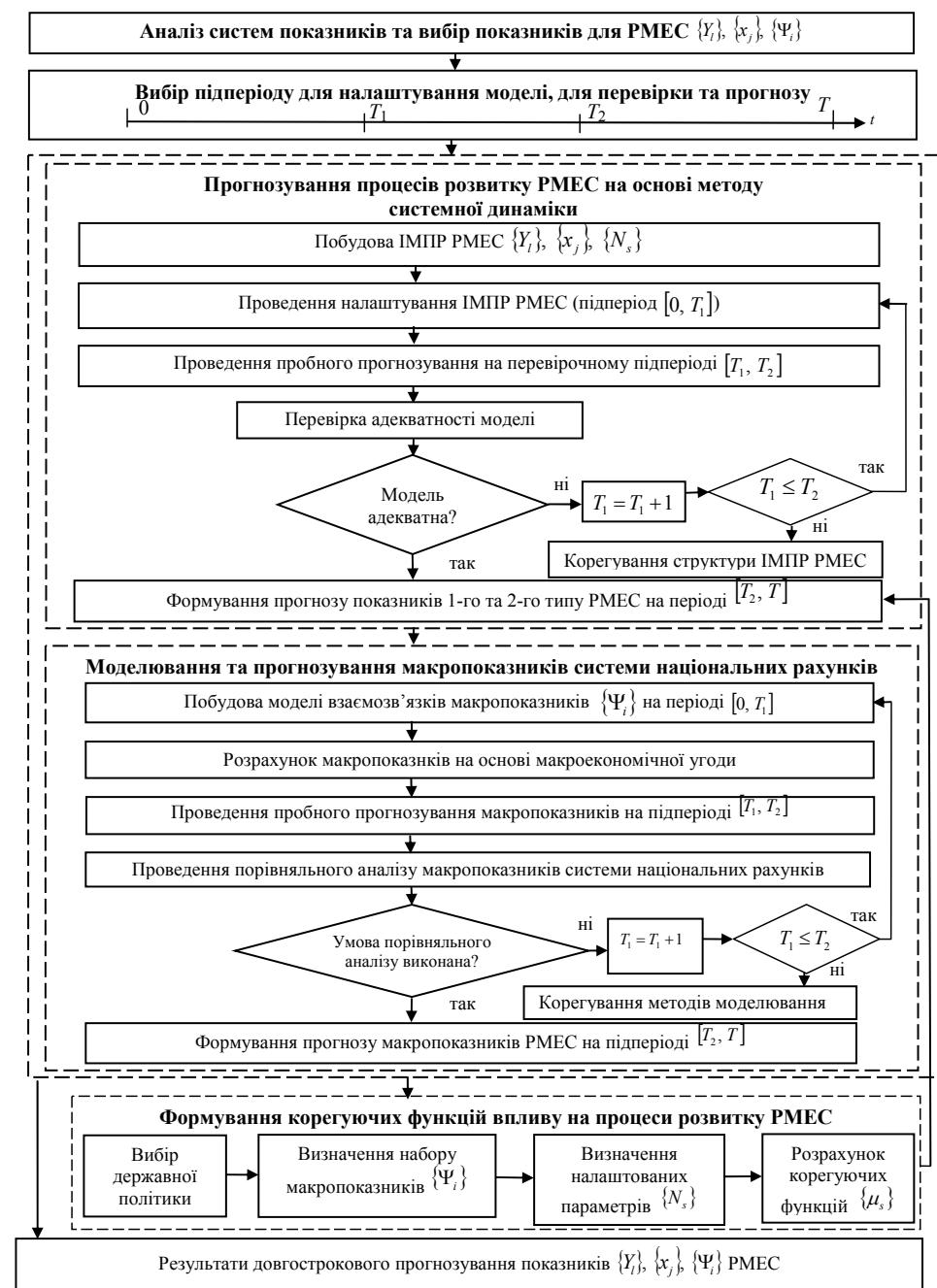


Рис. 1. Узагальнена технологія варіантного прогнозування процесів розвитку РМЕС

Обґрунтування введення цих змінних обумовлено наступним. Сучасне складне обладнання і технології не можуть використовуватися, якщо немає відповідної підготовленої кваліфікованої робочої сили, тому при моделюванні сфери виробництва окрім матеріальної складової необхідно враховувати інтелектуальну складову. У зв'язку з цим в моделі використовується змінна «інтелектуальний капітал». По аналогії з часткою фондів в сільському господарстві в моделі Форрестера автором введено змінну «доля інтелектуального капіталу в сільському господарстві». Вибір у якості змінної стану «валовий регіональний продукт» обумовлений, з одного боку, необхідністю врахування розподілу ВРП у середині РМЕС, з іншого – визначає і формалізує взаємодію РМЕС із зовнішнім середовищем.

Для прогнозування процесів розвитку РМЕС, пропонується період $[0, T]$ розділити на підперіоди: $[0, T_1]$ – для налаштування моделі, $[T_1, T_2]$ – перевірочний, $[T_2, T]$ – прогнозний та ввести наступні параметри: $V = T/h$, $V_1 = T_1/h$, $V_2 = (T_2 - T_1)/h$, $V_3 = (T - T_2)/h$, де h – крок дискретизації (рис.1). Кожному кроку відповідає інтервал $[t_k, t_{k+1}]$.

На основі підходу системної динаміки побудовано моделюючий алгоритм прогнозування процесів розвитку РМЕС. По аналогії з рівнями моделі Форрестера вводяться змінні $Y_l(t_k)$, $l = \overline{1, M}$. Кожна змінна стану $Y_l(t_k)$ описується наступним співвідношенням:

$$Y_l(t_{k+1}) = Y_l(t_k) + \Delta Y_l(t_k)h, \quad l = \overline{1, M}, k = \overline{0, V}, \quad (1)$$

де $\Delta Y_l(t_k)$ – швидкість зміни стану $Y_l(t_k)$, яка залежить від темпів приросту та убування $Y_l(t_k)$, V – число дискретних інтервалів $[t_k, t_{k+1}]$.

Для моделювання ВРП використовується виробнича функція наступного вигляду:

$$Y_8(t_{k+1}) = \alpha_0 K_w Y_1^{\alpha_1}(t_{k+1}) Y_2^{\alpha_2}(t_{k+1}) Y_6^{\alpha_3}(t_{k+1}), \quad (2)$$

де $Y_1(t_{k+1})$ – чисельність населення, $Y_2(t_{k+1})$ – обсяг наявних фондів, $Y_6(t_{k+1})$ – обсяг інтелектуального капіталу РМЕС, α_0 – коефіцієнт пропорційності, K_w – доля працездатного населення, α_1 , α_2 , α_3 – коефіцієнти виробничої функції.

Окрім змінних $Y_l(t_k)$ вводяться також змінні другого типу $\{x_j(t_k), j \in J, k = \overline{0, V}\}$, які є індикаторами внутрішніх процесів в РМЕС. Для опису номінального режиму роботи РМЕС і налаштування моделі на реальну РМЕС використовуються параметри N_s , $s = \overline{1, V}$. Для моделювання причинно-наслідкових зв'язків в РМЕС використовуються функції $q_i(x_j(t_k))$, $i = \overline{1, 25}$. Ці функції визначають вплив змінних другого типу на $\Delta Y_l(t_k)$.

Моделюючий алгоритм функціонування ІМПР РМЕС розглянуто в роботі [4]. Для налаштування моделі використовується ретроспективна інформація про процеси розвитку РМЕС. Для формування функцій $q_i(x_j(t_k))$ на початковому етапі здійснюється збір необхідної статистичної інформації, на основі якої формуються таблиці значень $x_j(t_k)$ і відповідні ним значення $q_i(x_j(t_k))$. Потім ці значення апроксимуються лінійною функцією, значення параметрів якої обчислюються на основі методу найменших квадратів (МНК). Далі отримані функції $q_i(x_j(t_k))$

масштабуються. Якщо для даних функцій $q_i(x_j(t_k))$ немає аналогів в моделі Форрестера, то їх значення відновлюються експертним шляхом. Наступним етапом технології налаштування ІМПР РМЕС є визначення значень параметрів N_s . Для цього задаються їх початкові значення, після чого здійснюється пробний прогноз. Для оцінки адекватності моделі розраховуються значення коефіцієнтів Джині і Тейла [4].

Технологія прогнозування процесів розвитку РМЕС

У основі запропонованого підходу лежить ІМПР, яка доповнена макропоказниками системи національних рахунків $\Psi_i(t_k)$, $i = \overline{1, \lambda}$, де λ – кількість макропоказників. Дляожної пари $\Psi_i(t_k)$, $\Psi_j(t_k)$ розраховуються коефіцієнти кореляції та формується поліноміальні залежності на основі МНК. Прогнозні значення $\Psi_i(t_k)$ розраховуються на основі прогнозних значень ВРП, які отримано з ІМПР.

Після визначення прогнозних значень $\Psi_i(t_k)$ РМЕС визначається значення ВРП по формулі макроекономічної угоди:

$$\Psi_1(t_k) = \Psi_2(t_k) + \Psi_3(t_k) + \Psi_4(t_k) + \Psi_5(t_k), \quad k = \overline{0, V}, \quad (3)$$

де $\Psi_1(t_k)$ – ВРП, $\Psi_2(t_k)$ – споживання домашніх господарств, $\Psi_3(t_k)$ – інвестиції, $\Psi_4(t_k)$ – державні витрати, $\Psi_5(t_k)$ – чистий експорт. Визначені значення ВРП на основі ІМПР РМЕС порівнюються зі значеннями, розрахованими на основі макроекономічної угоди (рис.1).

Дана технологія дозволяє здійснити прогнозування розвитку РМЕС в умовах ринкових механізмів саморегулювання. Щоб відобразити вплив державної політики на РМЕС, необхідно доповнити імітаційну модель наступними складовими:

- 1) моделювання керуючих впливів, що реалізують певну політику держави;
- 2) моделювання корегування налаштованих параметрів ІМПР РМЕС.

Дії державної політики відображаються певним набором макропоказників. Політика держави задається через динаміку зміни значень макропоказників на весь період прогнозування наступним чином:

$$\Psi_i(t_k) = (\gamma_i + \Delta\gamma_i(t_k))\Psi_j(t_k) + (\sigma_i + \Delta\sigma_i(t_k)), \quad i = \overline{1, \lambda}, \quad (4)$$

де: γ_i , σ_i – коефіцієнти лінійної регресії, що визначаються на основі ретроспективної статистичної інформації; $\Delta\gamma_i(t_k)$, $\Delta\sigma_i(t_k)$ – коефіцієнти, які задаються експертним шляхом та визначають вплив державної політики на значення макропоказника $\Psi_i(t_k)$.

Для відображення впливу обраної державної політики необхідно параметри ІМПР, які чутливі до даної політики, представити як часові функції

$$\bar{N}_s(t_{k+1}) = \bar{N}_s(t_k) + (1 + \varphi_s) \cdot \mu_s(t_k), \quad (5)$$

де φ_s – коефіцієнт, що задається експертним шляхом, $\mu_s(t_k)$ – функція, яка відображає обрану політику, що корегує N_s .

Узагальнена технологія прогнозування процесів розвитку РМЕС при державному регулюванні включає два етапи (рис. 1). На першому етапі формуються початкові умови державного регулювання, тобто визначається державна політика або сукупність політик, що впливають на процеси розвитку РМЕС. На другому етапі здійснюється прогнозування основних змінних стану відповідно до ІМПР РМЕС. На

основі набутих прогнозних значень виконується розрахунок корегуючих функцій $\mu_s(t_k)$ і здійснюється корекція відповідних їм параметрів $\bar{N}_s(t_{k+1})$. На кожному кроці значення параметрів $\bar{N}_s(t_{k+1})$ передаються в ІМПР РМЕС для прогнозування на наступний період. Отримана інформація є початковою для розробки і оцінки різних варіантів розвитку РМЕС в умовах функціонування механізмів державного регулювання.

Особливості реалізації прикладної інформаційної технології для прогнозування процесів розвитку РМЕС

На основі виведених принципів розробки прикладної інформаційної технології (ПІТ) [5], розроблена ПІТ для прогнозування процесів розвитку РМЕС, яка забезпечує вирішення наступного комплексу завдань:

створення і ведення бази даних, а також інтеграція її в централізоване сховище даних;

підвищення якості і оперативності прийняття управлінських рішень на основі використання аналітичних і прогнозних засобів;

проведення моніторингу, моделювання і варіантного прогнозування розвитку РМЕС;

представлення інформації в табличному і графічному вигляді;

забезпечення цілісності інформаційних ресурсів.

У якості користувачів автоматизованої системи (АС) прогнозування розвитку РМЕС виділені: особа, яка формує рішення (ОФР); експерт; особа, яка приймає рішення (ОПР). В якості ОФР можуть виступати співробітники сектора аналізу та прогнозування розвитку регіону. У ролі експертів можуть виступати начальник управління економіки ОДА та експерти у галузі розвитку регіону. В якості ОПР виступає керівник ОДА або його заступники, що відповідають за управління розвитком регіону.

Функціональна структура АС прогнозування розвитку РМЕС складається з наступних складових: модулі ініціалізації і налаштування, модулі виведення результатів прогнозування, модулі управління табличними і апроксимуючими функціями, модулі розрахункових процедур, база даних, довідкова підсистема, головний модуль.

Інтерфейси проектувалися відповідно до вимог стандарту СUA і правил проектування інтерфейсу користувача. Ключовою особливістю інтерфейсу користувача є присутність інтегрованої підсистеми безпеки, яка забезпечує розподіл прав доступу між користувачами.

Розроблена інформаційна технологія випробувана на основі даних Харківської області, починаючи з 2000 року. Для налаштування моделі використовувалася статистика за 2000-2006 рр. На перевірочному періоді з 2007-2010 рр. було проведено прогноз та порівняльний аналіз.

Отримані результати перспективного прогнозування процесів розвитку Харківської області представлено на рис.2.

Результати чисельних розрахунків свідчать про те, що при наявній державній політиці в довгостроковому періоді (з 2001 по 2025 р.р.) очікуються: зниження чисельності населення регіону до 2,53 млн. осіб; зменшення в два рази наявних природних ресурсів; збільшення в два рази обсягу наявних фондів (в середньому

зростання складе 3,5% в рік); також очікується зниження забруднення навколошнього середовища регіону на 10%.

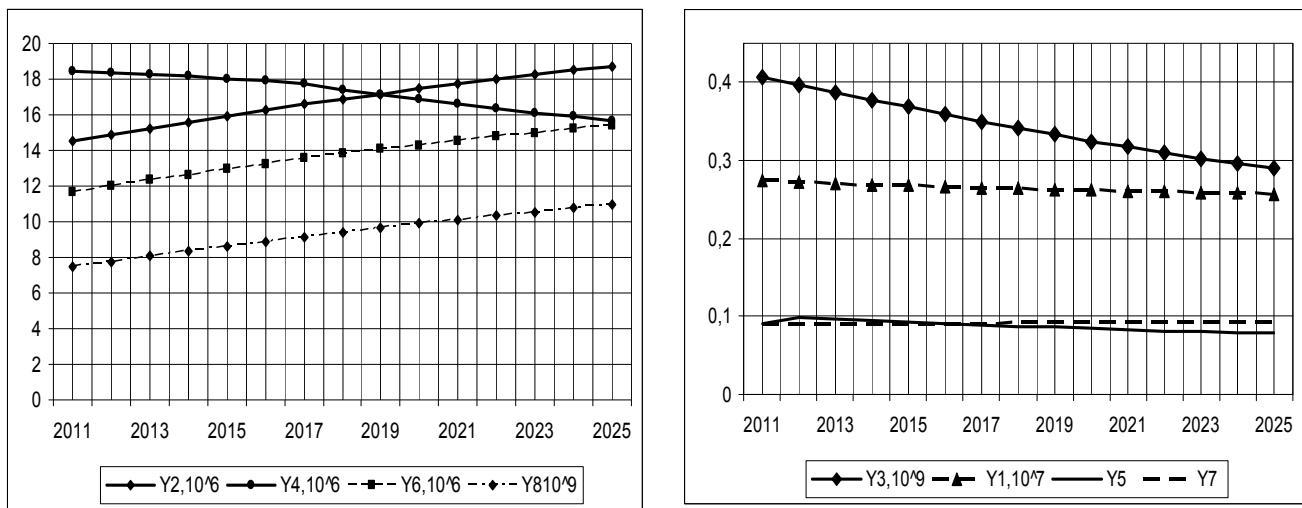


Рис. 2. Результати прогнозу процесів розвитку ПМЕС

Отримані результати свідчать про необхідність невідкладного підвищення ефективності управління процесами розвитку.

Розроблена прикладна інформаційна технологія прогнозування процесів розвитку ПМЕС може бути успішно використана для оцінки наслідків управлінських рішень на етапі формування планів і програм розвитку Харківської області.

Висновки

Таким чином, розроблено прикладну інформаційну технологію прогнозування процесів розвитку ПМЕС. До основних результатів роботи слід відмітити:

1. Проведено аналіз особливостей і механізмів функціонування ПМЕС, проаналізовано стан задачі прогнозування процесів розвитку системи. Поставлено задачу довгострокового прогнозування процесів розвитку ПМЕС з урахуванням системи показників, що описують ПМЕС, з погляду сфери споживання, сфери виробництва та екологічної сфери

2. Розроблена технологія прогнозування перспективного розвитку регіональної системи в умовах ринкової саморегуляції, яка базується на взаємозв'язаному застосуванні прогнозування на основі ІМПР ПМЕС і макропоказників системи національних рахунків.

3. Запропоновано підхід до моделювання державної політики, яка впливає на процеси розвитку ПМЕС.

4. Розроблена технологія прогнозування процесів розвитку ПМЕС за умови державного управління, яка включає етапи: 1) моделювання державної політики (формування динаміки зміни значень макропоказників, що визначають державну політику і динаміку змін значень відповідних параметрів ІМПР); 2) на основі ІМПР прогнозування основних показників ПМЕС.

5. Проведено апробацію прикладної інформаційної технології прогнозування процесів розвитку ПМЕС на процесах розвитку Харківської області. Проведено оцінку якості результатів прогнозу процесів розвитку ПМЕС, що свідчить про їх достовірність та надійність.

Список літератури: 1. Геєць В. М. Моделювання економічної безпеки : держава, регіон, підприємство: монографія / В. М. Геєць, М. О. Кизим, Т. С. Клебанова та ін. ; За ред. :

Геєць В.М. – Х. : Н.-д. центр індустр. пробл. розвитку НАН України. : ІНЖЕК, 2006. – 239 с.
2. Медоуз Д. Пределы роста: [пер. с англ] / [Медоуз Д. и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 206 с.
3. Гринченко М. А. Структура системы прогнозирования развития макроэкономических систем / В. Л. Лисицкий, М. А. Гринченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2005.– № 59. – С. 105-109. **4.** Гринченко М.А. Разработка имитационной модели прогнозирования процессов развития макроэкономических систем / В. Л. Лисицкий, М. А. Гринченко // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр, 2009. – №3/5 (39). – С. 4-8. **5.** Гринченко М. А. Реализация информационной технологии прогнозирования процессов развития макроэкономической системы. Результаты исследования. / М. А. Гринченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2011. – № 2(92). – С. 259-263.

УДК 004.942

Прикладная информационная технология для прогнозирования процессов развития региональных макроэкономических систем/ М. А. Гринченко //Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - №50(956). . С.44-50.

В работе разработана прикладная информационная технология для прогнозирования процессов развития региональных макроэкономических систем, которая объединила подход на основе метода системной динамики и макропоказателей системы национальных счетов, что позволило повысить научную обоснованность сформированного прогноза. Из.: 2. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: макроэкономическая система, прогнозирование, имитационная модель, информационная технология.

UDC 004.942

The applied information technology of forecasting of the processes of the macroeconomic systems development / M. A. Grinchenko //Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P.44-50

In work the information technology of forecasting of the processes of regional macroeconomic systems development is elaborated. It combines the approaches on the basis of system dynamics method and macroeconomic indicators of the national accounts system, which allowed to increase scientific validity of the formed forecast. Im.:2 : Bibliogr.: 5.

Keywords: macroeconomic system, forecasting, simulation model, information technology.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 629.07

В. З. ДОКУНИХИН, канд. техн. наук, доц., Национальный университет биоресурсов и природопользование Украины, Киев;

С. И. БОНДАРЕВ, канд. техн. наук, доц., Национальный университет биоресурсов и природопользование Украины, Киев;

В. В. МЕЛЬНИК, маг, Национальный университет биоресурсов и природопользование Украины, Киев

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА В АПК ПУТЕМ ПАКЕТИРОВАНИЯ ГРУЗОВ

Приведена методика оценки экономической эффективности транспортного процесса в АПК с использованием технологии пакетирования грузов. Из.:0, Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: транспортировка продукции, экономическая эффективность транспортного процесса, пакетирование грузов.

© В. З. ДОКУНИХИН, С. И. БОНДАРЕВ, В. В. МЕЛЬНИК 2012

Введение

Стоимость транспортной составляющей процесса снабжения, производства и распределения товаров составляет в США 1/3 цены конечного продукта.

Транспортные расходы в АПК Украины достигли 35% расходов на производство и реализацию сельскохозяйственной продукции. Одним из путей повышения эффективности транспортного процесса в АПК является расширение пакетирования грузов.

Цель работы

Повышение эффективности транспортного процесса в АПК на основе пакетирования грузов.

Изложение основного материала

Затраты на пакетирование грузов достигают около одного процента стоимости доставки грузов. Вместе с тем, от качества этих операций зависит не только сохранность продукции, но и расходы на выполнение транспортного цикла. Рациональное пакетирование грузов позволяет использовать более дешевую тару, уменьшить трудоемкость погрузочно-разгрузочных работ, сократить потери продукции, особенно сыпучих грузов, существенно уменьшить простой подвижного состава под нагрузкой и разгрузкой, повысить производительность погрузки на единицу площади складских помещений, сохранить товарный вид продукции и др. В АПК целесообразно пакетировать продукцию растениеводства (крупы, муку, овощи, масла), продукцию животноводства (сыр, яйца, молочные продукты, мед, консервы), удобрения, пиломатериалы, строительные материалы, смазочные материалы, запасные части к машинам и оборудование и многие другие грузы. Одной из причин, которые тормозят широкое внедрение в производство инновационных технологий пакетирования грузов у АПК есть отсутствие сравнительной оценки определенных аспектов эффективности разнообразных преимуществ пакетирования. Поэтому, в работе проводится попытка решить основные аспекты данной проблемы.

При использовании пакетирования продукции определенные составляющие экономического эффекта поставщика (транспортно-экспедиторская компания) определяют следующим образом:

1. **Эффект Э1** - в результате перехода на другую, более дешевую тару (из деревянной тары на картонные ящики, из картонных - на групповую упаковку с термоусадочной пленкой) рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_1 = n \cdot (B_{m1} - B_{m2}), \quad (1)$$

где n - количество тары для упаковки груза, ед.; B_{m1}, B_{m2} - стоимость единицы тары соответственно до и после перехода на пакетные перевозки, грн.

2. **Эффект Э2** - от сокращения рабочих, занятых на погрузочно-разгрузочных работах, рассчитывается следующим образом:

$$\mathcal{E}_2 = N_1 \cdot Z_1 - N_2 \cdot Z_2, \quad (2)$$

где N_1 и N_2 - количество рабочих, занятых на погрузочно-разгрузочных работах соответственно до и после внедрения пакетирования, чел.; Z_1 и Z_2 - заработка плата грузчиков с начислениями соответственно до и после внедрения пакетирования, грн.

3. **Эффект Э3** - от сокращения потерь продукции в мешках (цемент, минеральные удобрения, сахар, мука и т.п.):

$$\mathcal{E}_3 = U_n \cdot \Delta P, \quad (3)$$

где Q_n - цена единицы продукции, грн.; ΔP - разница между потерями продукции до и после внедрения пакетирования, т.

4. **Эффект Э4** - от сокращения потребности в складских площадях в результате повышения производительности нагрузки на единицу площади склада. Эффект обусловлен увеличением высоты штабелированного пакетированного груза:

$$\mathcal{E}_4 = (S_1 - S_2) \cdot H_n, \quad (4)$$

где S_1 и S_2 - складская площадь соответственно под не пакетированные и пакетированные грузы, m^2 ; H_n - средние удельные расходы за аренду и обслуживание 1-го m^2 складской площади (освещение, отопление, приведенные капиталовложения, строительство и др.), грн.

5. **Эффект Э5** - от сокращения потерь продукции после внедрения технологии пакетирования:

$$\mathcal{E}_5 = P_n \cdot \Delta M, \quad (5)$$

где ΔM - сокращение потерь продукции при ее пакетировании, т.

6. **Эффект Э6** - от сохранения товарного вида продукции:

$$\mathcal{E}_6 = Q \cdot (P_{n1} - P_{n2}), \quad (6)$$

где Q - масса продукции, которая потеряла товарный вид, т; P_{n1} - цена 1-й тонны продукции, которая не потеряла товарный вид, грн.; P_{n2} - цена 1-й тонны продукции, которая потеряла товарный вид, грн.

7. **Эффект Э7** - от сокращения времени простоев транспортных средств при выполнении погрузочно-разгрузочных работ:

$$\mathcal{E}_7 = B_e \cdot (t_1 - t_2), \quad (7)$$

где B_e - стоимость 1-го часаостоя транспортных средств под погрузочно-разгрузочными работами за определенный период времени, грн./час; t_1 и t_2 - длительностьостоя транспортных средств под погрузочно-разгрузочными работами за определенный период года соответственно до и после внедрения пакетирования.

8. **Эффект Э8** - от сокращения времениостоя транспортных средств в ожидании выполнения погрузочно-разгрузочных работ:

$$\mathcal{E}_8 = B_e \cdot (t_{ож.1} - t_{ож.2}), \quad (8)$$

где $t_{ож.1}$ и $t_{ож.2}$ - длительностьостоя транспортных средств в ожидании выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Рассчитывается на основе методов теории массового обслуживания [1].

9. **Эффект Э9** - от возможного повышения цены на продукцию, которая поставляется в пакетах:

$$\mathcal{E}_9 = M \cdot (P_{n.n.} - P_{d.n.}), \quad (9)$$

где M - объем продукции, который поставляется в пакетированном виде, т; $P_{n.n.}$ и $P_{d.n.}$ - цена продукции соответственно до и после пакетирования, грн./тон.

10. **Эффект Э10** - от реализации пакетированной продукции за рубежом, обусловленный разницей между мировыми и внутренними ценами:

$$\mathcal{E}_{10} = M \cdot (P_c - P_e), \quad (10)$$

где Π_c и Π_e - соответственно цена продукции на мировом и внутреннем рынках, грн./тон.

Для внедрения в производство технологий пакетирования необходимо разработать и реализовать ряд мероприятий, которые связаны со следующими расходами:

1. Расходами на разработку проекта пакетирования продукции АПК B_{np} .
2. Расходами на приобретение поддонов для пакетирования B_{nod} :

$$B_{nod} = n_{nod} \cdot B_{1.nod}, \quad (11)$$

где n_{nod} - общее количество поддонов, ед.; $B_{1.nod}$ - стоимость 1-го поддона, грн.

3. Расходами на приобретение термоусадочной пленки B_{nl} для скрепления грузов, сформированных в одном поддоне:

$$B_{nl} = n_{nod} \cdot B_{1.nl}, \quad (12)$$

где $B_{1.nl}$ - стоимость пленки на один поддон, грн.;

4. Расходами на приобретение средств механизации погрузочно-разгрузочных работ и оборудования для формирования и скрепления пленки B_{obl} :

$$B_{obl} = (B_{n.p.m.} + B_{o.ph.n.}) \cdot E, \quad (13)$$

где $B_{n.p.m.}$ - стоимость погрузочно-разгрузочных машин, грн.; $B_{o.ph.n.}$ - стоимость работ из формирования и скрепления пленки, грн.; E - нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений.

5. Расходы на выполнение монтажных и пуско-наладочных работ B_{mon} .
6. Расходы на заработную плату с начислениями рабочим B_{zn} , которые выполняют скрепление грузов на поддонах пленкой:

$$B_{zn} = N_{ck} \cdot Z_{ck}, \quad (14)$$

где N_{ck} - количество рабочих, занятых скреплением грузов пленкой, чел.; Z_{ck} - заработка плата с начислениями рабочему, который выполняет скрепление грузов на поддоне, грн.

7. Текущие расходы B_e при эксплуатации средств механизации погрузочно-разгрузочных работ и оборудования для скрепления грузов пленкой.

При внедрении пакетных перевозок для некоторых грузов степень загрузки транспортных средств может снизиться. В этом случае имеют место экономические потери Π_e , которые можно рассчитать по формуле:

$$\Pi_e = \left(\frac{M}{R_2} - \frac{M}{R_1} \right) \cdot B_{mz}, \quad (15)$$

где R_1 и R_2 - масса груза, который перевозит транспортное средство соответственно без пакетирования и с пакетированием продукции, т; B_{mz} - стоимость перевезенной продукции, которая загружена в одно транспортное средство на среднее расстояние перевозки, грн.

Годовой интегральный экономический эффект от внедрения в производство инновационной технологии пакетирования грузов определяется по формуле:

$$E = [(E1 + E2 + \dots + E10) - (B_{np} + B_{nod} + B_{nl} + B_{obl} + B_{mon} + B_{zn} + B_e + \Pi_e)] \quad (16)$$

Выводы

1. Обоснованы основные преимущества и применения пакетирования грузов АПК.

2. Приведены зависимости для расчета экономической эффективности ряда аспектов относительно преимуществ доставки грузов с их пакетированием в сравнении с базовыми технологиями, то есть без пакетирования.
3. Рассмотрены методы расчета расходов, связанных с организацией транспортного процесса с пакетированием грузов.

Список литературы: 1. *Докуніхін, В. З. Теорія масового обслуговування [Текст] / В. З. Докуніхін. — К.: НУБіП України, 2010, — 89 с.* 2. Основи теорії транспортних процесів і систем [Текст] : навч. посібн. для ВНЗ / М. Ф. Дмитриченко, Л. Ю. Яцківський, С. В. Ширяєва, В. З. Докуніхін. — К. : Видавничий Дім “Слово”, 2009. — 421 с. 3. Транспортно-экспедиторское обслуживание [Текст] : учеб., пособие для ВУЗов / С. Э. Стахова, О. В. Попова, А. В. Горев. — 2-е изд. — М. : Издательский центр «Академия», 2008, — 432 с. 4. Вісник магістратури Технічного ННІ Національного університету біоресурсів і природокористування України [Текст] : Зб. наук. праць / – Київ-Голосієво-Ніжин, 2011. – Вип. 1. – 140 с.

УДК 629.07

Підвищення ефективності транспортного процесу в АПК шляхом пакетування вантажів / В. З. Докуніхін, С. І. Бондарєв, В. В. Мельник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С. 50-54
Наведено методику оцінки економічної ефективності транспортного процесу в агропромисловому комплексі з використанням операцій пакетування вантажів. Іл.: 5. Бібліогр.: 4 назв.

Ключові слова: транспортування продукції, ефективність транспортного процесу, пакетування вантажів.

UDK 629.0

Increase of transporting process efficiency IN AIK by packing of loads / V., Dokunikhin, S. Bondarjev, V. Mel'nik // Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P.50-54.

Methodology of economic efficiency estimation of a transport process in the agroindustrial complex with the use of packing loads operations is present Im.: 0: Bibliogr.: 4.

Keywords: transporting of products, efficiency of a transport process, packing of loads.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 004.519.217

Д. А. МАЕВСКИЙ, канд. техн. наук, зав. каф., ОНПУ,. Одесса

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ДИНАМИЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проведены исследования влияния вторичных дефектов в программном обеспечении динамичных информационных систем на их надежность. Выявлена и исследована тенденция увеличения количества вторичных дефектов на начальной стадии процесса тестирования, что негативно влияет на надежность. Из.: 2. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: надежность программного обеспечения, вторичные дефекты, теория динамики программных систем, динамичные информационные системы.

1. Введение

Для оценки надежности программного обеспечения (ПО) информационных

© Д. А. МАЕВСКИЙ, 2012

систем (ИС) широко используются методы математического моделирования. Целью моделирования показателей надежности является параметризация временных зависимостей для количества оставшихся в системе дефектов и количества дефектов, внесенных в систему в процессе отладки. Такие дефекты получили название вторичных. Внесение в ПО ИС дополнительных вторичных дефектов негативно сказывается на надежности системы. Ситуация осложняется, если предметная область (ПрО) ИС претерпевает изменения в процессе их эксплуатации. Такие ИС с изменяющейся ПрО будем называть динамическими ИС (ДИС). При изменениях ПрО соответствующие изменения должны быть внесены и в ПО ДИС, что вызывает риск появления вторичных дефектов и снижения показателей надежности системы. Поэтому задача оценивания надежности ДИС при наличии вторичных дефектов, а также выявления закономерностей их проявления является актуальной.

2. Цель работы

Целью работы является исследование закономерностей проявления вторичных дефектов и их влияния на надежность ДИС.

3. Методы исследования

В настоящее время в традиционной теории надежности ПО не существует методов для оценивания показателей надежности с учетом влияния вторичных дефектов [1]. Многочисленные попытки ввести вторичные дефекты в существующие модели надежности [2, 3, 4] не привели к созданию практически применимых методов их учета. В [5, 6] описана разработанная автором теория динамики программных систем (ДПС) и показано, что на ее базе возможна разработка математических моделей, учитывающих влияние вторичных дефектов. В теории ДПС программная система (ПС) рассматривается как открытая неравновесная система, взаимодействующая со своей ПрО по законам неравновесных систем. При этом закон изменения количества дефектов во времени описывается системой автономных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{df_1}{dt} = -A_1 \cdot f_1 - A_2 \cdot f_2 \\ \frac{df_2}{dt} = -A_2 \cdot f_1 - A_1 \cdot f_2 \end{cases}, \quad (1)$$

где f_1 – текущее количество дефектов в ПС, f_2 – количество внесенных в ПС вторичных дефектов, A_1 и A_2 – коэффициенты влияния, имеющие размерность время^{-1} . A_1 является коэффициентом пропорциональности между количеством дефектов, которые содержатся в программной системе и соответствующей этим дефектам интенсивностью выходного потока (скоростью их изменения). Коэффициент A_2 показывает взаимовлияние выходного потока дефектов на входной поток (поток вторичных дефектов), и наоборот, входного потока на выходной.

Правомерность моделирования процессов выявления дефектов в ПС неравновесными процессами доказана путем сравнения экспериментально полученных временных рядов выявления дефектов с расчетными по теории ДПС. Для исследований взята статистически значимая выборка из 123 экспериментальных временных рядов и проведено 1230 оценок точности. Точность оценивания надежности по ДПС сравнивалась с точностью оценивания по девяти наиболее распространенным моделям. Результаты сравнения показали, что теория ДПС

позволяет стабильно точно оценивать показатели надежности, причем точность оценок по ДПС в 2,5 раза выше, чем у других моделей [6].

Решением этой системы для текущего количества вторичных дефектов учетом начальных условий $f_1(0) = F_0$, $f_2(0) = 0$ есть выражение

$$f_2(t) = F_0 \cdot e^{-A_1 t} \cdot \operatorname{sh}(A_2 \cdot t). \quad (2)$$

Формула (2) позволяет выполнить исследование закономерностей внесения в ПС вторичных дефектов и их влияние на надежность.

4. Результаты исследований

Для исследований закономерностей внесения вторичных дефектов в ПС использовалась гипотетическая программная система с такими параметрами: $F_0 = 100$, $A_1 = 0,01 \text{ c} \cdot \text{м}^{-1}$, коэффициент k изменяется в диапазоне от 0 до 1,1. Такое значение параметра A_1 соответствует учетным и банковским ДИС в период эксплуатации. При этом значение $k = 0$ означает полное отсутствие потока

вторичных дефектов, а значение $k = 1$ соответствует ситуации, при которой исправление одного первичного дефекта всегда сопровождается внесением одного вторичного. При значениях $k > 1$ количество внесенных вторичных дефектов превышает количество исправленных первичных. Зависимости количества вторичных дефектов от времени представлены на рис.1.

Из анализа этих зависимостей можно сделать следующие выводы:

–при увеличении коэффициента k количество дефектов, оставшихся в системе, увеличивается;

–при $k = 1$ это количество стабилизируется на значении 50% от начального количества дефектов F_0 ;

–при малых значениях коэффициента k интенсивность входного потока вторичных дефектов является незначительной в сравнении с интенсивностью выходного потока;

–при $k > 1$ количество вторичных дефектов монотонно растет во времени, что хорошо согласуется с качественными представлениями о поведении дефектов в ПС.

Из рис. 1 видно, что зависимость количества внесенных в ПС вторичных дефектов имеет четко выраженный максимум, особенно при больших значениях k – от 0,5 до 0,7 и этот, не известный раньше факт, следует учитывать при планировании процесса тестирования ПС ДИС. Можно сказать, что на этапе выявления дефектов, если при исправлении старых вносятся новые вторичные, то есть $k > 0$, существуют временные интервалы повышенного риска, когда внесение вторичных дефектов является наиболее интенсивным. Знание этих интервалов особенно важно на этапе тестирования и отладки ПО ДИС. Прогнозируя вхождение в интервал риска можно

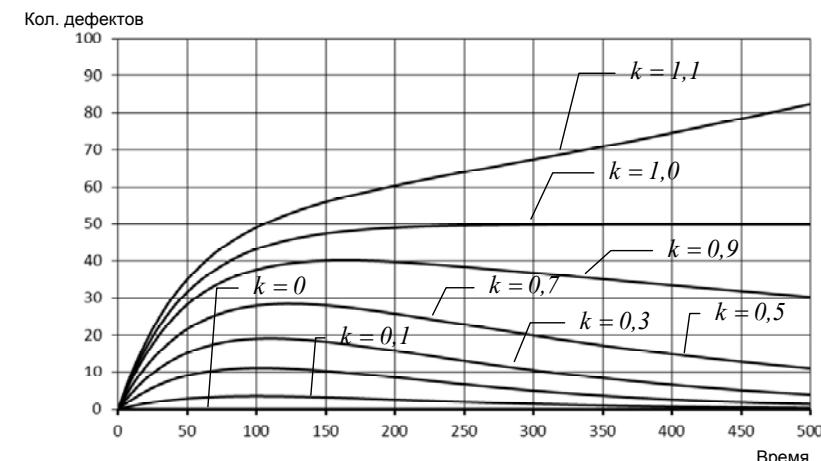


Рис. 1. Количество дефектов выходного потока в зависимости от $K = A_2/A_1$

заранее спланировать и организовать процесс отладки таким образом, чтобы уменьшить количество вторичных дефектов, которые вносятся в этот период.

Теория ГНС дает возможность спрогнозировать время, когда количество внесенных вторичных дефектов будет максимальным. Назовем это время **критическим временем** и обозначим как t_k (рис. 2). Рассматривая производную выражения (2) можно показать, что она равна нулю при

$$t_k = \frac{\ln\left(\frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2}\right)}{2 \cdot A_2}. \quad (3)$$

Это и есть значение критического времени. Следует отметить, что выражение (3) определено при условии $A_1 > A_2$.

Для определения границ интервала повышенного риска найдем приблизительное значение времени, за которое функция $f_2(t)$ при $A_1 > A_2$ достигнет близкого к нулю значения. Принимая во

внимание то, что гиперболический синус является функцией, модуль которой возрастает на всем интервале определения, скорость затухания $f_2(t)$, как видно из (2), определяет экспонента с показателем A_1 . Известно, что экспонента

$e^{-A_1 t}$ за время, равное $\Delta t = \frac{1}{A_1}$ затухает в $e = 2,718$ раз (число Эйлера). Поэтому для

определения зоны повышенного риска можно принять такие границы:

$$t_k - \Delta t \leq t \leq t_k + \Delta t, \quad (4)$$

$$\Delta t = \frac{1}{A_1}.$$

Таким образом, теория динамики программных систем позволяет выявить временной интервал повышенного риска внесения в ПС ДИС вторичных дефектов и рассчитать его границы.

5. Выводы

Полученные результаты были проверены экспериментально при разработке трех программных проектов учетных ДИС в среде 1С:Предприятия. На этапе тестирования, на основании временного ряда выявленных дефектов, определены коэффициенты влияния (1) созданных ДИС. Зоны повышенного риска отслеживались на этапе пробной эксплуатации. На соответствующих временных интервалах повышенного риска был усилен контроль при исправлении выявленных дефектов с целью недопущения внесения вторичных. За счет этого расходы на поддержку ДИС на этапе пробной эксплуатации сократились от восьми до двенадцати процентов по сравнению с расходами на аналогичные проекты до проведения исследований.

Таким образом, описанные в работе закономерности проявления вторичных дефектов на этапе эксплуатации ДИС получили практическое подтверждение.

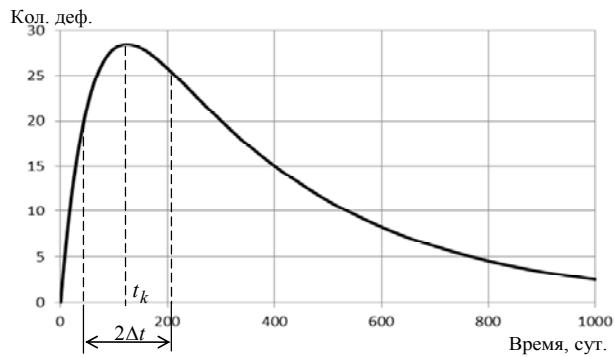


Рис. 2. Интервал повышенного риска внесения вторичных дефектов

Список літератури: 1. *Lyu, M. R. Handbook of Software Reliability Engineering / M. R. Lyu.* — New York: McGraw-Hill Company. — 1996. — 805 p. 2. *Moranda, P. B. Software Reliability Research / P. B. Moranda, J. Jelinski // Statistical Computer Performance Evaluation.* — New York: Academic Press, 1972. — 15 p. 3. *Wagner, S. A Software Reliability Model Based on a Geometric Sequence of Failure Rates / S. Wagner, H. Fischer // Technical Report TUMI-0520, Institut für Informatik.* — München: Technische Universität München. — 2005. 4. *Одарущенко, О. Н. Учет вторичных дефектов в моделях надежности программных средств / О. Н. Одарущенко, А. А. Руденко, В. С. Харченко // Математичні машини і системи.* — 2010. — № 1. — с. 205—217. 5. *Маевский, Д. А. Динамика программных систем и модели их надежности [Текст] / Д. А. Маевский // Сб. Радиоэлектронные и компьютерные системы.* — 2011. — № 2 — С. 45—54. 6. *Maevsky, D.A. Software reliability. Non probabilistic approach/ Dmitry A. Maevsky, Helen D. Maevskaya, Alexander A. Leonov // Reliability : Theory & Applications. Electronic Journal.* — 2012. — Vol.7 No. 3 — p. 8 – 20

УДК 004.519.217

Вплив вторинних дефектів на надійність динамічних інформаційних систем/ Д.А. Маєвський// Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С. 54-58.

Проведено дослідження впливу вторинних дефектів в програмному забезпеченні динамічних інформаційних систем на їх надійність. Виявлена та досліджена тенденція збільшення кількості вторинних дефектів на початковій стадії процесу тестування, що негативно впливає на надійність. Іл.: 2. Бібліогр.: 6 назв.

Ключові слова: надійність програмного забезпечення, вторинні дефекти, теорія динаміки програмних систем, динамічні інформаційні системи.

UDC 004.519.217

Influence of secondary defects on reliability of dynamic information systems / D. Maevsky // Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P.54-58.

Studies of influence of secondary defects are undertaken in software of the dynamic information systems on their reliability. The tendency of increase of amount of secondary defects is educed and investigational on the initial stage of testing process, that negatively influences on reliability. Im.: 2. Bibliogr.: 6.

Keywords: reliability of software, secondary defects, theory of dynamics of the programming systems, dynamic information systems.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 616-71

А. И. САВИЦКИЙ, магистр, ХНУРЭ, Харьков;

Е. В. ЛИННИК, канд. техн. наук, ХНУРЭ, Харьков

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТРЕМОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Рассмотрены вопросы повышения информативности тремографических данных путем их фильтрации с использованием вейвлет-технологий. Разработанный и описанный в статье метод позволяет сохранить информативные стохастические составляющие тремограммы и может быть использован в современных автоматизированных системах нейропсиходиагностики. Из.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: тремор, паркинсонизм, нерегулярные осцилляции, вейвлет-преобразование

© А. И. САВИЦКИЙ, Е. В. ЛИННИК, 2012

Введение

Нарушения регуляции в системе управления движением, проявляющиеся повышенным трепетом или трудностью выполнения привычных движений, объединяют синдромом паркинсонизма. При кажущейся простоте симптоматики сложность установления диагноза определяется многофакторностью повреждающих воздействий[1]. В этом случае особое значение приобретают методы инструментальной оценки патологического состояния центральной нервной системы (ЦНС). Тремография (ТГ) является важной аппаратно-поведенческой методикой исследования функционального состояния психической деятельности и индивидуально-психологических особенностей личности. Тремор – непроизвольные ритмичные движения конечностей, головы, языка и других частей тела, возникающие вследствие поочередного сокращения мышц-агонистов и мышц-антагонистов.

Актуальность темы

Получение трепетограммы, непосредственно фиксирующей двигательные феномены, может осуществляться как прямым, так и косвенным методом. При прямом методе непосредственно регистрируется феномен движения, например с помощью сигнала, получаемого с акселерометрического датчика.

В настоящее время достоверно определены параметры физиологического и патологического трепета и разработаны автоматизированные системы ТГ[2,3]. Однако, сигнал ТГ, как и большинство биологических сигналов являются нестационарными квазигармоническими, что обусловлено стохастическим характером и цикличностью биологических процессов. Наложение нескольких сопутствующих процессов затрудняет извлечение информативной части сигнала. Поэтому актуальными являются задачи, направленные на усовершенствование методов и средств регистрации, обработки и анализа трепетограмм.

Цель работы

В современных системах трепетографии для оценки параметров трепета используют математический аппарат преобразования Фурье [2], которое, при всех своих достоинствах, обладает рядом недостатков (требует знания сигнала в будущем, ограничение числа гармоник спектра, базисная функция определена в интервале времени $(-\infty; +\infty)$ и не описывает перепады сигналов с бесконечной крутизной и др.). Альтернативой преобразованию Фурье является вейвлет-преобразование, которое в настоящее время успешно применяется в области прикладной математики, обработки сигналов и изображений, связи и средств телекоммуникаций. В отличие от преобразования Фурье, вейвлет-преобразование позволяет представлять нестационарные сигналы, легко выявлять их локальные особенности, а также непосредственно определять временную локализацию частотных составляющих сигнала [4].

Однако для каждой конкретной задачи необходим подбор оптимальных параметров разложения.

Целью данной статьи является определение наилучшего способа реализации вейвлет-фильтрации трепетографического сигнала на основе анализа влияния параметров вейвлет-фильтрации на качество идентификации стохастической составляющей трепетограммы произвольного движения.

Механизмы генерации трепета

Причины развития трепета до сих пор во многом неясны. Предполагают 2 основных механизма формирования трепета: наличие центральных и периферических осцилляций [1]. Центральная осцилляция обеспечивается

церебеллоталамокортикальной системой. Способность к ритмическим разрядам определяется особыми свойствами ионных каналов в нейронах, а формирование генератора дрожания возникает при синхронизации ритмической патологической активности группы нейронов. Причинами синхронизации могут быть формирование патологических межнейронных связей, деафферентация или иные механизмы.

В развитии тремора и поддержании ритмической активности его генераторов существенная роль принадлежит циркуляции импульсов по нейронным кругам. Периферическая осцилляция объясняется рефлексом растяжения. Она продуцируется периферическими чувствительными окончаниями, которые рефлекторно индуцируют двигательные модуляции. При периферических механизмах источником ритмической активности являются осцилляции в дугах сенсомоторных кругов [1,2].

Основным механизмом формирования тремора считают трансляцию осцилляторной активности центральной нервной системы (ЦНС) к периферическим мышцам, а ритмическая активность мышц ведет к тремору. При этом спектральный анализ показывает пик на частоте тремора как в акселерометрическом спектре, так и в спектре электромиограммы. Эти осцилляции называют центральными; в отличие от механически-рефлекторных (периферических) осцилляций они характеризуются центрально установленной частотой и не зависят от механики конечности [3]. Это принципиальное различие между двумя механизмами может быть использовано при дифференцировании усиленного физиологического тремора и патологического эссенциального тремора. На механику конечности можно легко повлиять, добавив дополнительный груз на исследуемую конечность, поскольку увеличение веса ведет к уменьшению резонансной частоты. Частота тремора уменьшится с дополнительным грузом в случае механически-рефлекторных осцилляций и останется неизменной при центральных осцилляциях. Нагрузка конечности при механически и рефлекторно усиленном физиологическом треморе действительно значительно уменьшает частоту [1]; это позволяет сделать вывод, согласно которому ЭТ является центральным.

Независимость дрожания в разных конечностях указывает на то, что существует несколько независимых осцилляторов для каждой конечности, вовлеченной в тремор. Четкое разделение различных видов тремора в зависимости от генератора осцилляций условно. Взаимодействие между центральными и периферическими механическими рефлекторными осцилляциями возникает периодически при всех видах центрального тремора, что может приводить к некоторым спонтанным флюктуациям в частоте тремора и его зависимости от положения конечности.

Вопрос, является ли тремор абсолютно ритмичным колебанием, остается спорным. Ни один вид тремора не продуцируется строго синусоидальными осцилляциями. По данным акселерометрии более регулярным и ритмичным по периодичности является ЭТ, форма волны которого ближе к синусоиде. Характеристика паркинсонического тремора более сложна за счет возможной смены рисунка (флексия–экстензия, пронация–супинация), в результате форма волны такого тремора неправильная и неритмичная.

Материалы и методы

Стандартная процедура вейвлет-фильтрации состоит в подавлении шумовой составляющей сигнала и восстановлении информативной составляющей и включает следующие этапы[5,6]:

- Вейвлет-разложение сигнала.

- Выбор и применение порога для детализирующих коэффициентов каждого уровня разложения.
- Вейвлет-восстановление на основе исходных коэффициентов аппроксимации и модифицированных детализирующих коэффициентов.

Однако, стандартная процедура вейвлет-фильтрации не учитывает особенности сигнала ТГ. Предлагается адаптировать метод для выделения нерегулярных осцилляций и определить набор оптимальных параметров вейвлет-фильтрации.

Предлагаемый метод вейвлет-фильтрации, адаптированный к ТГ, схематически представлен на рис.1. Как видно, для реализации данного метода необходимо

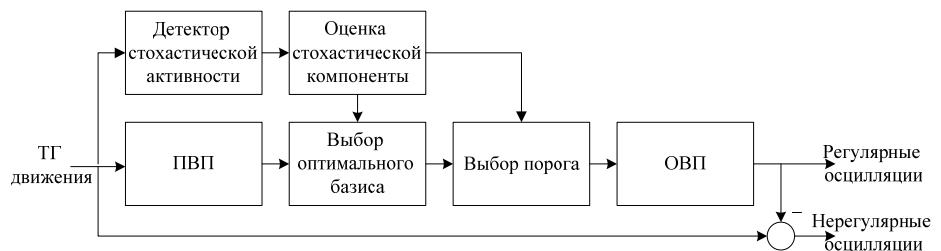


Рис.1. Схема адаптивной вейвлет-фильтрации ТГ

определить оптимальный тип и базис разложения и выбрать порог фильтрации. Оптимальный базис разложения определяется базисной вейвлет-функцией и уровнем разложения. Порог определяется типом пороговой функции и пороговой переменной

Как показали исследования, для аппроксимации ТГ наилучшим образом подходит вейвлет-преобразование с использованием алгоритма Малла. Но вейвлет-пакетное преобразование дает больше возможностей для фильтрации сигнала – большим количеством коэффициентов можно оперировать, выделение наилучшего (с позиции максимума энтропии) дерева разложения, определение оптимального уровня разложения для сигнала. Поэтому для фильтрации ТГ было применено вейвлет-пакетное преобразование.

Обзор литературы показал, что нет четких рекомендаций по выбору базисных вейвлетов [4,6]. Выбор оптимального базиса вейвлетов для разложения сигнала является трудной и пока математически не решенной задачей. Известен ряд критериев построения “хороших” вейвлетов, но, тем не менее, наилучшая комбинация этих свойств неизвестна. Выбор конкретного вейвлета зависит от данного анализируемого сигнала и определяется интуицией и практическим опытом исследователя[1].

В качестве основных требований к вейвлет-базису, применяемому в обработке ТГ можно указать:

1. обеспечение реконструкции сигнала;
2. обеспечение непрерывного и дискретного преобразований с применением алгоритмов быстрого вейвлет-преобразования (БВП).

Для проверки влияния типа базисной вейвлет-функции на качество представления сигнала ЭКГ выбраны вейвлеты Хаара, Добеши, Симлета, Койфлета и В-сплайновые биортогональные вейвлеты различных порядков, как наиболее отвечающие данным требованиям.

Определение пороговой переменной происходит на основе детекции стохастической компоненты ТГ. Детектор стохастической активности определяет, присутствует ли на входе полезный сигнал, либо входной сигнал является детерминированным. Из свойства ортогональности вейвлет-преобразования следует, что белый гауссовский шум будет преобразован в набор вейвлет-коэффициентов, нормально распределенных в каждом узле вейвлет-пакет дерева. Для определения

соответствия распределения вейвлет-коэффициентов нормальному закону использован статистический метод интервального оценивания. В качестве параметра оценивания принята нормированная автокорреляционная функция вейвлет-коэффициентов в j -ом узле:

$$r_k = \frac{R_k}{R_0},$$

$$\text{где } R_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-k} (c_i^j - \bar{c}^j)(c_{i+k}^j - \bar{c}^j),$$

c_i^j – вейвлет-коэффициенты в j -ом узле ($i=0..N$),

\bar{c}^j – выборочное среднее вейвлет-коэффициентов в j -ом узле.

Можно показать, что дисперсия r_k $D(r_k) \approx \frac{1}{N}$ (для $k=1,2\dots$).

Тогда, сравнивая r_k со значением $\pm \frac{x_\alpha}{\sqrt{N}}$ (где α – уровень значимости, x_α –

квантиль распределения, соответствующий уровню значимости α), можно говорить, что вейвлет-коэффициенты содержат детерминированную компоненту сигнала при

$|r_k| > \frac{x_\alpha}{\sqrt{N}}$ (для выбранного $\alpha=0,95$ $x_\alpha=1,96$). В противном случае, вейвлет-

коэффициенты считаются стохастической компонентой и подлежат дальнейшему оцениванию.

Коэффициенты стохастической компоненты ТГ распределены в каждом узле вейвлет-пакет дерева с различной дисперсией, поэтому оценку их параметров и определение пороговых уровней необходимо производить отдельно в каждом узле.

Для оценки параметров стохастической компоненты ТГ приняты выборочное среднее \bar{c} и выборочная дисперсия $\bar{\sigma}^2$ соответствующих вейвлет-коэффициентов.

Пороговую переменную θ необходимо определить так, чтобы $|c_k^j| \leq \theta$ с заданной

вероятностью α . Тогда $P\left\{\frac{\theta}{\sigma} \leq x_\alpha\right\} = \alpha$, где x_α двусторонний квантиль распределения на уровне значимости α .

Для $\alpha=0,95$ $x_\alpha=1,96$, и, если вместо σ взять его оценку $\bar{\sigma}$, то $|\theta| \leq x_\alpha \bar{\sigma} \approx x_\alpha \bar{\sigma}$ с 95% вероятностью. Таким образом, в качестве пороговой переменной в узле принимается значение $|\theta| = x_\alpha \bar{\sigma} = 1,96 \bar{\sigma}$. Аналогично пороговые переменные определяются для каждого узла вейвлет-пакет дерева.

Пороговая фильтрация коэффициентов может быть осуществлена с использованием различных пороговых техник:

Жесткий порог: $T_h(x) = \begin{cases} x, & |x| \geq \theta, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$

Мягкий порог: $T_s(x) = \begin{cases} x - \text{sgn}(x)\theta, & |x| \geq \theta, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$

$$\text{Супермягкий порог: } T_{ss}(x) = \begin{cases} x - \operatorname{sgn}(x)(1-\alpha)\theta, & |x| \geq \theta, \\ \alpha x, & \text{иначе} \end{cases}$$

Результаты

Экспериментальные исследования проводились на серии ТГ-сигналов с пробой «разведение рук» снятых у здоровых людей при помощи разработанного измерительного модуля[7,8] с моделированием нерегулярных патологических осцилляций. В качестве критерия качества фильтрации взята норма восстановления сигнала:

$$norm = \frac{\|s_{\text{вых}}[n]\|^2}{\|s_{\text{вх}}[n]\|^2} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N |s_{\text{вых}}[n]|^2}{\sum_{n=1}^N |s_{\text{вх}}[n]|^2}} \cdot 100\%,$$

где $norm$ – норма восстановления сигнала (в процентах), $s_{\text{вх}}[n]$ – исходный сигнал, $s_{\text{вых}}[n]$ – сигнал после фильтрации. Данный критерий далее используется для определения оптимального способа реализации алгоритма вейвлет-фильтрации ТГ.

На основе экспериментальных данных в качестве базисной функции вейвлет-разложения был выбран вейвлет Койфлета 3-го порядка (coif 3).

Были проведены исследования зависимости степени восстановления сигнала нерегулярных патологических осцилляций от уровня вейвлет-разложения при фильтрации ТГ-сигнала (рис.2).

Для ТГ при использовании в качестве базисного вейвлет coif 3 оптимальный уровень разложения одинаков и не зависит от уровня нерегулярных компонент (рис.2).

Был проведен сравнительный анализ качества восстановления нерегулярных патологических осцилляций при использовании стандартного метода вейвлет-фильтрации и предложенного адаптированного к ТГ(рис.3).

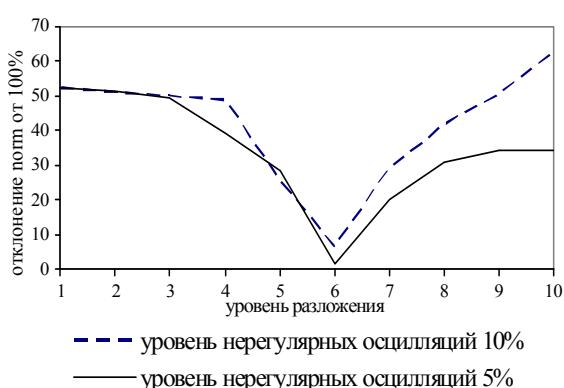


Рис.2. Отклонение нормы восстановления патологического сигнала от 100% для различных уровней разложения

Очевидно, что при использовании адаптивной вейвлет-фильтрации можно добиться выделения нерегулярных патологических осцилляций близкого к 100%. На основе проведенных исследований, можно сформулировать последовательность выполнения этапов вейвлет-фильтрации ТГ:

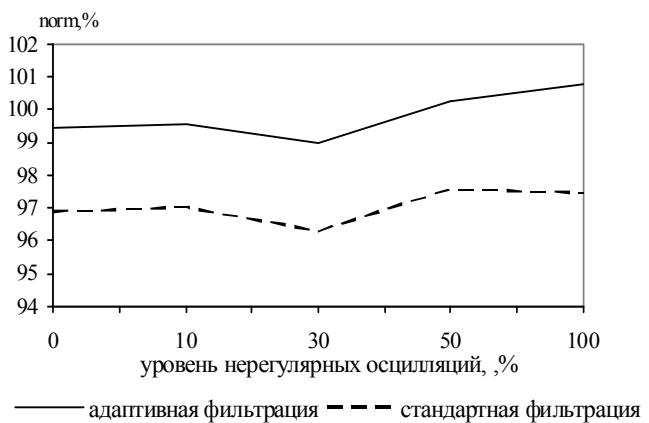


Рис. 3. Норма восстановления сигнала нерегулярных патологических осцилляций при стандартной и адаптивной фильтрации (для coif3 lev =6 mu=0,1)

- 1 Взять 2^n отсчетов сигнала.
- 2 Определить содержит ли рассматриваемый участок регулярные осцилляции или является стохастическим.
- 3 Если участок является стохастическим, то проводим оценку уровней сигнала во всех узлах вейвлет-пакет дерева.
- 4 Выполнить полное вейвлет-пакетное преобразование.
- 5 Выделить адаптивный базис из полного дерева, т.е. задается максимально возможное разделение регулярных и нерегулярных осцилляций (при условии, что преобразуемый фрагмент содержит и те и другие).
- 6 Урезать коэффициенты в выделенном базисе с использованием супермягкой пороговой техники.
- 7 Выполнить обратное вейвлет-преобразование.
- 8 Вычесть полученный сигнал из исходного.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшим (по критерию качества выделения стохастической компоненты тремографического сигнала) способом реализации вейвлет-фильтрации является реализация, основанная на алгоритме вейвлет-пакетного разложения с использованием вейвлета Койфлета 3 порядка в качестве базисного и супермягкой пороговой фильтрации с адаптацией пороговой переменной к уровню стохастической составляющей сигнала. При её использовании можно добиться разделения регулярных и нерегулярных осцилляций близкого к 100% при их различных уровнях, что позволяет выделять трепмор, обусловленный центральными механизмами, и периферический механический рефлекторный трепмор. Применение описанного метода фильтрации в современных тремографических системах позволит повысить точность нейропсиходиагностики за счет возможности выявления новых диагностических показателей, а также проводить контроль эффективности оперативного и консервативного лечения пациентов с паркинсонической симптоматикой.

Список литературы: 1. Залялова, З. Что мы знаем о трепморе? [Текст] / З. Залялова // Врач. – 2011. – С.7 – 11. 2. Аврунин, О. Г. Автоматизированный анализ количественных показателей треморографических данных для наблюдения динамики трепмора [Текст] / О. Г. Аврунин, Т. В. Жемчужкина, Т. В. Носова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №2/2 (50). – С.17 – 21. 3. Драган, Б. Компьютерная тензотреморометрия в изучении физиологического и патологического трепмора [Текст] / Б. Драган // Вестник психиатрии и психофармакотерапии. – 2008. – № 2(14). – С. 18 – 22. 4. Дремин, И. М. Вейвлеты и их использование [Текст] / И. М. Дремин//Успехи физических наук.- 2001. – Т.171. – № 5. – С.465-501. 5. Мельникова, Е. В. Первичная обработка электрокардиосигнала с использованием вейвлет-технологий[Текст] / Е. В.Линник// Восточно-Европейский журнал передовых технологий.- 2003. – №6. – С.49-50. 6. Анализ низкоамплитудных элементов в компьютерных системах ЭКГдиагностики [Текст]: тез. докл. 2й Международный радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития.» МРФ2005. Сб. научных трудов. Том I. Пленарные заседания Форума, семинары и круглые столы, 19–23 сентября 2005г. Харьков: Е. В. Мельникова (отв. ред.) . – Харьков, 2005. – с.72. 7. Возможности использования датчиков трепмора при проведении трепморографии [Текст]: тез. докл. 16го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодеж в XXI веке», 19 апреля 2012г. Харьков: А. И. Савицкий (отв. ред.). – Харьков, 2012. –174 с. 8. Измерительный модуль для регистрации трепмора [Текст]: тез. докл. ХХІV Всеросійську науковотехнічну конференцію «Біотехніческі, медіцинські і екологіческі системи і комплекси» (Біомедсистеми 2011), 7 мая 2012 г. Рязань: А. И. Савицкий (отв. ред.). – Рязань,2012. – 254с.

УДК 616-71

Ідентифікація стохастичної складової тремографічного сигналу/ Е.В. Лінник, А.І.Савицький // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С. 58-65.

Розглянуто питання підвищення інформативності тремографічних даних шляхом їх фільтрації з використанням вейвлет-технологій. Розроблений та описаний у статті метод дозволяє зберегти інформативні стохастичні складові тремограмми і може бути використаний в сучасних автоматизованих системах нейропсиходіагностики. Іл.: 3. Бібліогр.:8. назв.

Ключові слова:тремор, паркінсонізм, нерегулярні осциляції, вейвлет-перетворення.

UDK 616-71

Identification of tremography signal stochastic component / E. Linnik, A. Savitsky // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - №50(956). . С. 58-65.

Questions of tremography data informativeness increase by a way of wavelet-filtering are considered. The method allowing to save the tremography informative stochastic components is developed and described in article. It can be used in the modern automated systems of neuropsychodiagnostics. Im.:3 : Bibliogr.: 8.

Keywords: tremor, Parkinsonism, irregular oscillations, wavelet transform.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 656.072.009.12

A. С. НЕЧИТАЙЛЕНКО, студент, УкрДАЗТ, Харків;

О. В. ШЕВЧЕНКО, студент, УкрДАЗТ, Харків

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ

Дана стаття присвячується підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту України відносно повітряного та автомобільного транспорту. За умови підтримки та покращення нової цінової та сервісної політики на залізничному транспорту і надалі буде конкурентоспроможність на високому рівні. Іл.:1. Бібліогр.:9 назв

Ключові слова: пасажирські перевезення, рухомий склад, конкурентоспроможність, швидкісний рух.

Вступ. Основною задачею роботи залізничного транспорту є повне та своєчасне задоволення потреб населення країни у перевезеннях. Для її забезпечення на залізницях України діє розгалужена система руху пасажирських поїздів.

Аналіз діючих маршрутів, статистичних даних по кожному поїзду про число місць та їх реалізацію, звітність про постанційне відправлення та густоту пасажиропотоку, пропозиції до зміни діючих маршрутів на dennі поїзди дадуть нову інформацію керівникам залізничного транспорту з організації пасажирських перевезень та допоможуть поліпшити обслуговування пасажирів.

Відстань кожного маршруту встановлюється за Тарифним керівництвом, час в дорозі визначається з книжок розкладу руху пасажирських поїздів за станом діючого графіку руху поїздів – ці дані розраховані в ОДБ. Після визначення цих даних розрахована маршрутна швидкість для кожного маршруту слідування поїзда окремо туди та в зворотному напрямку за формулою (1).

© А. С. НЕЧИТАЙЛЕНКО, О. В. ШЕВЧЕНКО, 2012

$$V_{марш} = \frac{L_{марш}}{t_{марш}}, \quad (1)$$

де $L_{марш}$ – довжина маршруту слідування поїзда, км;

$t_{марш}$ – час знаходження поїзда в дорозі.

Мета. Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту порівняно до інших видів транспорту.

Постановка проблеми. Підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів – одна з найважливіших задач підйому рівня обслуговування пасажирів [1]. Це залежить від кількості станцій, які проходять поїзди, технічної оснащеності поїздів, підвищенні максимально допустимої швидкості та ходової швидкості руху поїздів, кількості криволінійних ділянок колій. Останнє – є перешкодою у підвищенні швидкості руху.

Швидкість на криволінійних ділянках обмежується вимогами забезпечення безпеки руху та необхідного рівня комфорту для пасажирів у зв'язку з тим, що більшість залізничних магістралей було побудовано в Україні наприкінці XIX ст., коли максимальна допустима швидкість пасажирських поїздів за нормативами не перевищувала 80 км/год.

Що стосується швидкісного руху в Україні, то за швидкістю він значно поступається Західній Європі, але, з іншого боку, ціна доступна для всіх верств населення. Звідси виходить, що денні поїзди конкурують в основному не з авіаційним, а з автотранспортом.

Удосконалення швидкісного руху полягає не тільки в скороченні часу простою на проміжних станціях, скороченні самих проміжних станцій, а й у підвищенні ходової швидкості руху поїзда. Підвищити ходову швидкість поїзда можливо за рахунок закупівлі нового рухомого складу та удосконалення колії. Проте, рухомий склад та колійне господарство на сьогодні не відповідають стандартам щодо забезпечення швидкісного руху, визначеним Міжнародним союзом залізниць та Організацією співробітництва залізниць. Наявне колійне господарство залізниць України знаходиться не в кращому технічному стані.

Незважаючи на вжиті за останні роки заходи з оновлення верхньої будови колії, земляного полотна та рухомого складу, максимально дозволена швидкість руху пасажирських поїздів на залізницях залишається порівняно невисокою - 120 км/год [2].

Проте, під час проведення Євро 2012 в Україні таки виникли деякі зміни, щодо швидкості руху поїздів. Було придбано 10 составів поїздів фірми Hyundai Corporation, які розвивали швидкість до 200 км/год та відносно скоротили час перебування у подорожі.

Що стосується країн Західної Європи, то європейські швидкісні поїзди забезпечують рух зі швидкістю від 200 до 350 км/год. Наприклад, дільниця між Брюсселем та Парижем — одна з самих швидкісних залізничних дільниць у Європі — поїзди тут розвивають швидкість до 300 км за годину! В результаті відстань у 350 км долається за 1 годину 20 хвилин. Це далеко від наших 100 км/год на київському напрямку. Також, цінова політика у сфері залізничних перевезень значно



Рис. Електропоїзд фірми Hyundai Corporation

відрізняється від України. Наприклад, ціни на залізничне сполучення в межах Франції у вагонах другого класу при умові передвчасного бронювання квитків:

Лілль — Бордо — від 22 євро; Париж — Ла — Рошель — від 22 євро; Аеропорт Шарль де Голль (Париж) — Ліон — від 22 євро; Лілль — Париж — від 17 євро.

Запроваджені стимули для власників дисконтних карт, молоді від 12 до 25 років, пенсіонерів та дітей. Ці категорії пасажирів отримують знижку до 25% до стандартної ціни навіть при покупці квитка у останню хвилину перед відправленням поїзда [3].

Вартість квитків на поїзди Eurostar з Лондона у Париж стартує від 69 фунтів (1000 гривен). В Італії доїхати із Риму у Венецію обійтеться у 60 євро. Набагато дорожче подорожувати по Іспанії, на місцевих швидкісних поїздах вартість проїзду зовсім велика у євро. Наприклад, для того щоб доїхати з Барселони у Мадрид (600 кілометрів), знадобиться викласти від 120 до 220 євро в залежності від типу поїзда. Швидкісні поїзди існують й у сусідній Росії. Так, доїхати з Санкт-Петербурга у столицю Фінляндії Хельсінки (трохи більше 300 км) можна за 120 євро [4].

Перспективи розвитку залізниць у Європі. Наприкінці 2011 року Amadeus IT Group провела дослідження, яке показало, що в середньому 77% респондентів віддали б перевагу подорожі на міжнародному швидкісному поїзді ніж подорожі на інших видах транспорту за умови конкурентної вартості квитків. Наприклад, в Італії віддали б перевагу швидкісному руху 72%, у Німеччині — 76%, у Швеції — 78%, у Великобританії — 79%, в Іспанії — 81%. Згідно з дослідженням у найближчі 3 роки європейські швидкісні залізниці вийдуть на новий рівень та стануть пріоритетним видом міжнародних подорожей. Найбільш важлива потреба у розвитку залізниць — це інтернаціоналізація. Скорочення регулювання у рамках Європейської залізничної галузі, подальший розвиток Європейським союзом єдиної транспортної системи та зростаючий попит на подорожі на швидкісних поїздах — все це призведе до того, що подорожі по залізницях будуть продаватись на міжнародному рівні, як через туристичні агентства, так и через Інтернет. [8, 9].

Вартість залізничних квитків під час Євро 2012 порівняно до інших видів транспорту можна побачити, виходячи з даних, наведених нижче:

Таблиця – Порівняння цін на квитки у міста, приймаючі Євро – 2012 [4]

Напрямок з Києва	Електропоїзди Hyundai		Авіапереліт		Звичайні поїзди		Автобус	
	Ціна (2/ 1 клас), грн	Час у дорозі	Ціна, грн	Час перельоту	Ціна (купе), грн	Час у дорозі	Ціна, грн	Час у дорозі
Донецьк	367, 75/ 564,25	5:30	925,0	1:20	248,2	15:18	265-316	11:00
Львів	307,45/ 474,89	4:55	842,5	1:10	194,8	8:16	180-215	8:30
Харків	275,66/ 422,91	4:30	1028,5	1:00	166,46	5:55	160-185	8:00

У таблиці представлена вартість проїзду на залізничному транспорті по понеділках, вівторках та середах. У четвер та суботу при покупці білетів діє знижка 10%. При оформленні білетів на електропоїзди Hyundai у напрямку «туди» та «зворотньо» застосовується знижка у розмірі 10% від вартості проїзду. Вартість проїзду у п'ятницю та неділю буде вище на 10% [7]. Після закінчення проведення

ЄВРО-2012 та зменшення кількості пасажирів на швидкістні поїзди УЗ зничило вартість квитків до 16.6% за рахунок відміни НДС [6].

Висновки. Завдяки змінам у ціновій політиці УЗ для клієнтів залізничного транспорту є привабливість для подорожей по зрівнянню з автомобільним та повітряним транспортом.

Список літератури: 1. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог [Текст] : учеб. пособие для вузов. / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1990. – 424 с. 2. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / П. С. Грунтов. – М: Транспорт, 1994. – 404 с. 3. Hyundai – поезда для богатых или не очень удобные и дорогие электрички в Киев? [Электронный ресурс] : информация / «Зеркало Недели». – Режим доступа : <http://www.domik.net/novosti/hundai-poezda-dlya-bogatyx-ili-ne-ochen-udobnye-i-dorogie-elektrichki-na-kiev-n163984.html> 4. «Укрзалізниця» делает крупные украинские города ближе [Электронный ресурс] : информация / «Комсомольская правда в Украине». – Режим доступа : http://kp.ua/Default.aspx?page_id=3&city_id=-1&date=300512&news_id=339884 5. Самолетом или поездом. Сравнение цен на билеты в города Евро-2012 [Электронный ресурс] : информация / Информационное агентство «ЛІГАБізнесІнформ». – Режим доступа: <http://biz.liga.net/all/transport/stati/2207462-samoletom-ili-poezdom-sravnenie-tsen-na-bilety-v-goroda-evro-2012.htm> 6. Теперь украинцы смогут дешевле приобрести билеты на поезда категории "интерсити+" [Электронный ресурс] : информация / «Транспорт и инфраструктура». – Режим доступа : <http://dn.vgorode.ua/news/127096> 7. Расписание движения скоростных поездов Hyundai и стоимость проезда [Электронный ресурс] : информация / блог «Общественный тонус». – Режим доступа: http://www.planetadonetsk.com/news/index.php?ELEMENT_ID=20459 8. Перспективы развития железных дорог в Европе [Электронный ресурс] : информация / блог «EuropeRails». – Режим доступа : <http://blog.europerrails.ru/2012/05/22/perspektivy-razvitiya-zheleznyx-dorog-v-evrope/#more-2862> 9. Ренессанс европейских железных дорог [Электронный ресурс] : інформація / блог «EuropeRails». – Режим доступа : <http://blog.europerrails.ru/category/european-high-speed-trains/>

УДК 656.072.009.12

Усовершенствование организации пассажирских перевозок в условиях конкуренции/ Нечитайленко А. С., Шевченко О. В. // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.-Харьков: НТУ «ХПИ».-2012.-№ 50(956).-С.65-68

Данная статья посвящается повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта Украины относительно воздушного и автомобильного транспорта. При условии поддержки и улучшения новой ценовой и сервисной политики на железнодорожном транспорте и в дальнейшем будет конкурентоспособность на высоком уровне. Из.:1.Библиогр.:9 назв.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, подвижной состав, конкурентоспособность, скоростное движение.

UDK 656.072.009.12

Improvement of passenger transportation in konkuren-tsii / Nechitaylenko A. S, Shevchenko O. V. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. - Kharkov: NTU "KhPI".-2012.-№ 50(956). – P. 65-68.

This article is dedicated to increasing the competitiveness of railway transport of Ukraine on air and road transport. Provided support and improve the new pricing and service policies on the railways and in the future will be competitive at a high level. Im.:1. Bibliogr.:9.

Keywords: passenger transportation, rolling stock, competitiveness, high-speed traffic

Надійшла до редакції 4.10.2012

Н.У. ГЮЛЕВ, канд. техн. наук, доц., ХНАГХ, Харьков;
В.К. ДОЛЯ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ХНАГХ, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ТРАНСПОРТНОГО ЗАТОРА НА СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЕЙ

Представлены результаты исследований факторов, влияющих на функциональное состояние водителя-сангинника и водителя-меланхолика в транспортном заторе. Из.: 2. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: фактор, функциональное состояние, характеристический график.

Введение

Насыщение и перенасыщение транспортной системы города транспортными потоками приводит к превышению интенсивности движения над пропускной способностью улично-дорожной сети. Это приводит к появлению очередей автомобилей и транспортных заторов, особенно, на пересечениях дорог в периоды «пик».

Постановка проблемы

Пребывание в транспортных заторах отрицательно сказывается на психофизиологическом состоянии водителя, вызывая ухудшение его функционального состояния и ряда психических свойств [1,2].

Возрастание эмоционального напряжения приводит к нарушению режима работы водителя и, в конечном счете, к утомлению [3, 4]. Изменение функционального состояния приводит к выработке и принятию водителем того или иного решения, от которого зависит безопасность дорожного движения.

Возникает необходимость изменения технологии организации дорожного движения и исследования факторов, влияющих на состояние водителя [5].

Анализ последних исследований и публикаций

Некоторые исследования по оценке психофизиологических характеристик и функционального состояния человека проводились авторами работ [4-6]. Однако в этих работах не в полной мере рассмотрены индивидуально-типологические свойства и темперамент, которые существенно влияют на функциональное состояние водителя.

В работах [1-4,7] вопросы организации дорожного движения рассмотрены с учетом психофизиологии водителя. В них отмечено, что от технологии организации дорожного движения зависит функциональное состояние водителя. Однако вопросы исследования факторов, влияющих на функциональное состояние водителя, в них рассмотрены не в полном объеме.

Цель исследования

Целью исследования является исследование факторов, влияющих на функциональное состояние водителя-сангинника и водителя-меланхолика в транспортном заторе.

Основной материал

Выбор факторов, оказывающих влияние на выходную функцию, производился с учетом рекомендаций, изложенных в работе [8].

© Н.У. ГЮЛЕВ, В.К. ДОЛЯ, 2012

Наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на функциональное состояние водителя во время движения, представлены в работе [9]. Они были получены путем анкетного опроса водителей и экспертных оценок. При этом наиболее значимым фактором, отрицательно влияющим на функциональное состояние водителя, оказался транспортный затор.

Факторы, оказывающие влияние на функциональное состояние водителя в условиях транспортного затора, были отобраны в работе [7]. Они оказались следующие: возраст водителя; стаж работы водителя; тип нервной системы; число полос на дороге; комфортабельность автомобиля; длительность пребывания в транспортном заторе; величина функционального состояния водителя перед затором.

Величина функционального состояния водителя определяется показателем активности регуляторных систем организма (ПАРС). Методика его определения приведена в работах [4-6].

Для исследования влияния этих факторов на функциональное состояние водителя в транспортном заторе были использованы регрессионные модели, разработанные в работах [10,11], и имеющие следующий вид.

Для водителя-сангинника:

$$\Pi_k = 0,009B_e + 1,372 \ln(T_3/\Pi_h) + 0,939\Pi_h, \quad (1)$$

где Π_k – ПАРС при выходе из транспортного затора, баллы;

B_e – возраст водителя, лет;

T_3 – длительность транспортного затора, мин;

Π_h - ПАРС при входе в транспортный затор, баллы.

Для водителя-меланхолика:

$$\Pi_k = 0,013B_e + 0,065T_3 + 0,913\Pi_h, \quad (2)$$

где Π_k – ПАРС при выходе из транспортного затора, баллы;

B_e – возраст водителя, лет;

T_3 – длительность транспортного затора, мин;

Π_h - ПАРС при входе в транспортный затор, баллы.

Для анализа влияния этих факторов на функциональное состояние водителя-сангинника был установлен диапазон их варьирования (табл.1).

Таблица 1 - Диапазон варьирования факторов, влияющих на функциональное состояние водителя-сангинника в транспортном заторе.

Факторы	Обоз- название, размерн ость	Диапазон варьирования факторов				
		минимальн ое значение	максимальн ое значение	среднее значени е	количество интервал ов	шаг варьирован ия
Возраст водителя	B_e , лет	22	58	40	4	9
Длительность транспортного затора	T_3 , мин	3	19	11	4	4
ПАРС при входе в транспортный затор	Π_h , баллы	2,2	5,8	4	4	0,9

Используя данные табл.1 и модель (1), был построен характеристический график (рис.1).

Как видно из графика на рис.1, с увеличением всех факторов происходит возрастание значения ПАРС (Π_k) при выходе из транспортного затора. Наибольшее влияние на показатель функционального состояния водителя при выходе из транспортного затора оказывают начальное значение ПАРС при входе в затор и начальное значение ПАРС при выходе в транспортный затор.

Также был установлен диапазон варьирования факторов для модели водителя-меланхолика (табл.2).

Таблица 2 - Диапазон варьирования факторов, влияющих на функциональное состояние водителя-меланхолика в транспортном заторе.

Факторы	Обозначение, размерность	Диапазон варьирования факторов				
		минимальное значение	максимальное значение	среднее значение	число интервалов	шаг варьирования
Возраст водителя	B , лет	23	55	39	4	8
Длительность транспортного затора	T_3 , мин	3	19	11	4	4
ПАРС при входе в транспортный затор	Π_h , баллы	2,6	5,8	4,2	4	0,8

Используя данные табл.2 и модель (2), был построен график (рис.2).

Как видно из графика на рис.2, с увеличением всех факторов происходит возрастание значения ПАРС (Π_k) при выходе из транспортного затора. Наибольшее влияние на показатель функционального состояния водителя при выходе из транспортного затора оказывает начальное значение ПАРС при входе в затор и начальное значение ПАРС при выходе в транспортный затор.

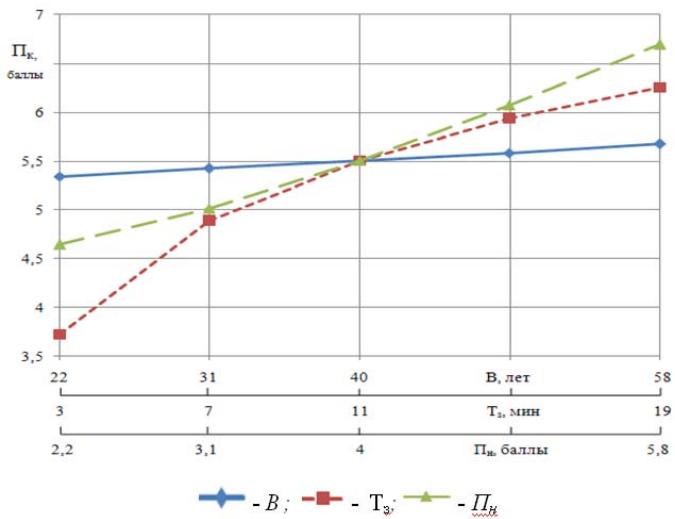


Рис. 1. Характеристический график изменения функционального состояния водителя-сангвинника в транспортном заторе



Рис. 2. Характеристический график изменения функционального состояния водителя-меланхолика в транспортном заторе

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Таким образом, из вышеизложенного следует, что на функциональное состояние водителя оказывает влияние три фактора.

Наибольшее влияние на функциональное состояние водителя оказывают длительность транспортного затора и начальное значение ПАРС при входе в транспортный затор.

Дальнейшие исследования необходимо проводить с целью оценки времени реакции водителя и его изменения после выезда из транспортного затора.

Список литературы: 1.Мишурин, В. М. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей: учеб. пособие / В. М. Мишурин, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. — М. : МАДИ, 1982. — 254 с. 2. Гюлев, Н. У. Влияние времени простоя автомобиля в дорожном заторе на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.1/10(49). — С. 50–52. 3.Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. — М. : Транспорт, 1980. — 311 с. 4. Давідіч, Ю. О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Ю. О. Давідіч. — Харків : ХНАДУ, 2006. — 292 с. 5.Гюлев, Н. У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора : дисс. ... канд. техн. наук / Н. У. Гюлев. — Харьков, 1993. — 139 с. 6.Баевский, Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. З. Клецкин. — М.: Наука, 1984. — 222 с. 7.Гюлев, Н. У. Модель влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.2/6(50). — С. 73–75. 8.Френкель, А. А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда / А. А. Френкель. — М. : Экономика, 1966. — 96 с. 9. Гюлев, Н. У. Оценка значимости факторов, влияющих на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2011. — №10. — С. 140–144. 10.Гюлев, Н. У. Нелинейная модель изменения функционального состояния водителя-сангининика в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2012. — Т.3/4(57). — С. 17–19. 11.Гюлев, Н. У. Об изменении функционального состояния водителя-меланхолика в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, М. И. Крамара // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2012. — №33. — С. 77–80.

УДК 656.13

Дослідження впливу факторів транспортного затору на стан водіїв/ Гюлев Н.У., Доля В.К. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 53(958). С. 68-72

Представлено результати досліджень факторів, що впливають на функціональний стан водія-сангвінінка і водія-меланхоліка в транспортному заторі. Іл.: 2. Бібліогр.:11. назв.

Ключові слова: фактор, функціональний стан, характеристичний графік.

UDK 656.13

Influence factors traffic jams on the state driver/ Gyulev N.U., Dolya V.K. //Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - № . P. 68-72

The results of research on the factors influencing the functional state of the driver, and the driver-sangvinnika melancholic in traffic congestion. Im.:2 : Bibliogr.: 11.

Keywords: factors, functional status, the characteristic graph.

Надійшла до редакції 20.09.2012

Н. В. ИВАНОВСКИЙ, канд. техн. наук, КГМТУ, Керчь

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОРСКОГО СУДНА ПО КУРСУ

В работе рассмотрен вопрос получения закона управления движением морского судна по курсу при наличии внешнего возмущения с неизвестным законом распределения. В качестве методики исследования использовался один из методов робастного управления – скользящий режим.

Ключевые слова: морское судно, управление движением, скользящий режим.

Постановка проблемы. При движении судно испытывает случайные возмущения, обусловленные ветром, течением, асимметрией в работе винтов и т.д. Эти возмущения носят случайный характер с неизвестным законом распределения, поэтому оценка параметров этих возмущений проблематична. В связи с чем автоматизированная система управления судном может иметь существенные ошибки регулирования. Поэтому исследования направленные на поиск законов управления движением морского судна по заданному курсу с учетом внешних возмущений являются актуальными.

Анализ последних достижений. Классические методы управления объектом при наличии случайных возмущений изложены в работах [1,2]. Методы, изложенные в этих работах, предполагают наличие информации о частотном спектре предполагаемого возмущения. В нашем случае оценить параметры возмущения невозможно.

В работе [3] изложены основные методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления объектом при отсутствии информации о предполагаемом возмущении. В данной работе большое внимание уделяется применению нейронных сетей в системах управления. Приводятся примеры построения нейро-регуляторов. Использование нейронной сети в системе управления предполагает обучение этой сети, что вызывает определенные сложности.

Формулирование целей статьи. Целью настоящей статьи является разработка закона управления движением морского судна при наличии внешнего возмущения, с неизвестными параметрами. При этом одним из основных условий ставится задача простой реализации этого метода в действующих системах автоматического управления судна. В связи с этим, в качестве основы, была выбрана теория скользящего режима.

Изложение основного материала исследования

Уравнение динамики отклонения управляемого судна от заданного курса (рис. 1) имеет вид [4]

$$J\ddot{x} + h\dot{x} = M_p(\varphi) \quad (1)$$

где x – угол отклонения оси судна от курса, отсчитываемый по часовой стрелке, φ – угол отклонения руля от нейтрального положения, J – момент инерции судна относительно его центра масс, h – коэффициент момента сил сопротивления вязкой среды, M_p – вращающий момент, создаваемый поворотом руля.

© Н. В. ИВАНОВСКИЙ, 2012

Следует учитывать, что данная математическая модель описывает реальное движение судна только при относительно малых углах и скоростях, что соответствует наиболее вероятному режиму движения БПС. Следуя [4], будем предполагать, что момент M_p пропорционален углу:

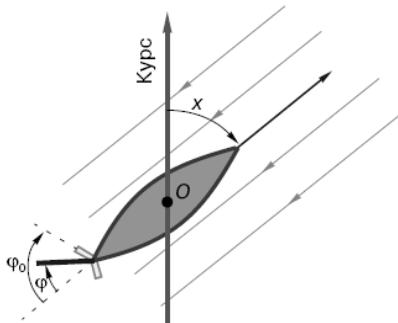


Рис. Расчетная схема модели управления судном

$$M_p = -l\varphi, l > 0 \quad (2)$$

Далее предположим, что движение руля управляет авторулевым по закону реле [4]

$$\varphi = \begin{cases} +\varphi_0, & \text{если } \sigma = \alpha\dot{x} + x > 0 \\ -\varphi_0, & \text{если } \sigma < 0 \end{cases} \quad (3)$$

где α – некоторый положительный параметр, $\pm\varphi_0$ – предельные углы поворота руля. Тем самым предполагается, что руль мгновенно перекладывается в правое крайнее положение, если $\sigma > 0$, и в крайнее левое, если $\sigma < 0$.

Мы хотим проследить динамику отклонения судна от его курса. Точнее, мы желаем выяснить, как будет вести себя процесс $x(t)$, если он подчиняется уравнениям (1)–(3). Систему (1)–(3) можно записать в упрощенном виде

$$\ddot{x} + a\dot{x} = -k\psi \quad (4)$$

$$\psi = \begin{cases} +1, & \text{если } \sigma > 0, \sigma = \alpha\dot{x} + x \\ -1, & \text{если } \sigma < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где обозначено $\psi = \varphi/\varphi_0$, $a = h/J$, $k = l/J$.

Как видим, система (4), (5) неопределенна, в законе (5) отсутствует значение $\sigma = 0$. Согласно теории скользящего режима фазовая точка системы при $\sigma \rightarrow 0$ движется вдоль линии $x + \alpha y = 0$, где α некоторый параметр.

Для скользящего режима осредненное решение предельной системы $\sigma = 0$ удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\dot{\bar{x}} + \alpha \bar{x} = 0,$$

откуда следует, что $\bar{x}(t) \rightarrow 0$, $t \rightarrow \infty$.

Предположим теперь, что на судно действует внешнее возмущение, момент которого относительно центра масс описывается непрерывной функцией $F(t)$ (например, ветровое возмущение). Уравнение движения в этом случае примет вид

$$J\ddot{x} + h\dot{x} = -l\psi + F(t) \quad (6)$$

или в упрощенном виде

$$\ddot{x} + a\dot{x} = -k\psi + f(t) \quad (7)$$

где $f(t) = \frac{1}{J}F(t)$.

Предположим, что интенсивность возмущения не может превысить некоторое значение, так что

$$|f(t)| \leq C \quad (8)$$

где C – некоторая константа.

Задача авторулевого морского судна – стабилизировать курс и в этих условиях. Кажется, что это невозможно без измерения и прогноза функции $f(t)$. И это будет верно, если иметь в виду классические решения дифференциальных уравнений и обычные режимы. Однако на помощь приходит скользящий режим. Сначала приведем уравнение (7) к виду

$$A\dot{\sigma} + B\sigma = Bx - k\psi + f(t) \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} \sigma &= x + \alpha \dot{x}, \quad A = \frac{1}{\alpha} > 0, \quad B = \frac{a - A}{\alpha} = \frac{a\alpha - 1}{\alpha^2} \\ &\quad a > \frac{1}{\alpha}, \quad B > 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Теперь определим алгоритм действия авторулевого:

$$\psi = l x - \Delta \psi, \quad l = \frac{B}{k}, \quad (11)$$

$$\Delta \psi = \frac{C + \Delta C}{k} \varphi(\sigma), \quad \varphi(\sigma) = \begin{cases} +1, & \text{если } \sigma > 0, \\ -1, & \text{если } \sigma < 0, \end{cases}$$

где ΔC – произвольное неотрицательное число. Запишем уравнение движения системы (9), (10) в осредненных функциях

$$A\dot{\bar{\sigma}} + B\bar{\sigma} = -(C + \Delta C)\bar{\varphi}(t) + f(t). \quad (12)$$

Так как $f(t)$ – непрерывная функция, то ее осредненное значение $\bar{f}(t)$ равно ей самой. Из указанных выше свойств осредненной функции Ψ и из (12) следует

$$\bar{\sigma}(t)\bar{\varphi}(t) = |\bar{\sigma}(t)| \quad (13)$$

Умножим равенство (12) на $\sigma(t)$ и проинтегрируем по t в пределах от $t = 0$ до $t = T > 0$. Тогда с учетом (11), (13) приходим к соотношению

$$\frac{1}{2}A(\bar{\sigma}^2(T)) - \frac{1}{2}A(\bar{\sigma}^2(0)) + B \int_0^T \bar{\sigma}^2(T) dt = -(C + \Delta C) \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt + \int_0^T f(t)\bar{\sigma}(T) dt \leq$$

$$\leq -(C + \Delta C) \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt + C \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt = -\Delta C \int_0^T |\bar{\sigma}(T)| dt < 0$$

откуда, устремляя $T \rightarrow \infty$, получаем (с учетом (10))

$$\begin{aligned} \sup_t |\bar{\sigma}(t)| &\leq |\sigma(0)| \\ \int_0^\infty (\bar{\sigma}(t))^2 dt &\leq \frac{A}{2B}, \quad \int_0^\infty |\bar{\sigma}(t)| dt \leq \frac{\Delta C}{B} \end{aligned} \quad (14)$$

Соотношения (14), в свою очередь, влекут соотношение $\bar{x}(t) = x(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$.

Выводы

Полученный закон управления движением морского судна по курсу (11), не требует информации о параметрах внешнего возмущения, повышает качественные показатели системы управления и имеет простую реализацию.

Список литературы: 1. Березин С. Я. Системы автоматического управления движением судна

по курсу / С. Я. Березин, Б. А. Тетюев. – Л. : «Судостроение», 1990. – 256 с. 2. Афанасьев В. Н. Математическая теория конструирования систем управления / В. Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов. – М. : «Высшая школа», 1998. – 574 с. 3. Пупков К. А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / К. А. Пупков. – М. : Издательство МГТУ им. Баумана, 2002. – 256 с. 4. Справочник по теории корабля. Под ред. Я. И. Войткунского. Т.3. Управляемость водоизмещающих судов. – Л. : Судостроение, 1985. – 544 с.

УДК 656.6

Вживання методів робастного управління рухом морського судна по курсу / М. В. Івановський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С.73-76.

У роботі розглянуто питання здобуття закону управління рухом морського судна по курсу за наявності зовнішнього обурення з невідомим законом розподілу. У якості методики дослідження використовувався один з методів робастного управління – «ковзаючий режим». Іл.: 1. Бібліogr.: 4 назв.

Ключові слова: морське судно, управління рухом, ковзаючий режим.

UDK 656.6

Application of methods robust control traffic of marine ship to on-course / N. Ivanovsky//Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P.73-76

The question of receipt of law of traffic of marine ship control is in-process considered to on-course at presence of external indignation with the unknown law of distributing. The methods of research one of methods robust control was used is the «sliding mode». Im.: 1: Bibliogr.: 4

Keywords: marine ship, traffic control, sliding mode.

Надійшла до редакції 15.10.2012

УДК 665.9

В. В. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков;

А. И. КАРЕВ, студ., НТУ «ХПИ», Харьков;

С. А. ЧАВРОВ, студ., НТУ «ХПИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Проведены исследования влажности древесно-полимерных композитов на основе отходов полипропилена и органических отходов и ее влияние на технологические характеристики образцов. Из.: 4. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: отходы, полимеры, древесные, влажность, переработка.

Введение

Изготовление древесно-полимерных композитов (ДПК), на сегодняшний день, один из наиболее динамично развивающихся секторов отрасли переработки пластмасс. Изделия, произведенные из ДПК по технологии «жидкого дерева», обладают всеми положительными качествами, присущими полимерам и древесине [1-3]. Сырьевой базой для получения ДПК являются наиболее распространенные термопласти (полиэтилен, полипропилен и поливинилхлорид), а также древесина, ее отходы, разнообразные растения, макулатура, отходы сельскохозяйственного производства (солома, рисовая шелуха) и даже текстиля. Композит получают путем смешения древесной массы, термопласта и добавок, после чего посредством экструзии материал обретает уже определенную форму – доски, специальные профили, сложные элементы и т.д. Сейчас значительного распространения начинают находить ДПК на основе вторичных термопластов, которые также позволяют решить очень актуальную проблему полимерных отходов [4-5]. Важной областью исследований данных ДПК на предмет их стабильности во влажной атмосфере воздуха и влияние их влажности на процесс переработки.

Целью работы

Целью работы является исследование влажности древесно-полимерных материалов на основе отходов полипропилена (ВПП) и органических отходов и ее влияние на процесс переработки ДПК.

Методика экспериментов

На одношнековом лабораторном экструдере был получен древесно-полимерный материал на основе ВПП и органических отходов с содержанием древесной составляющей от 10 до 50%. Изучение реологических характеристик образцов проводили на капиллярном вязкозиметре постоянного тока марки ИИРТ-АМ-1. Влажность образцов определяли по методу Фишера. Испытания образцов во влажной атмосфере проводили в камере погоды.

Обсуждение результатов

Добавление дерева в термопластичную матрицу будет неизбежно сказываться на влагопоглощении материала. Влажность композита является существенным фактором, оказывающим значительное влияние на переработку ДПК. Жидкость, находящаяся в волокнах органического наполнителя превращается в пар при высокой температуре и вспенивает расплав композита. Пар и выделение летучих неорганических соединений делают пористость материала неконтролируемой и

© В. В. ЛЕБЕДЕВ, А. И. КАРЕВ, С. А. ЧАВРОВ, 2012

плохо прогнозируемой. Это уменьшает плотность конечного продукта переработки ДПК. Влага, находящаяся в композите является естественным пластификатором и улучшает литьевые свойства материала. На рис. 1 представлена зависимость эффективной вязкости от влажности ДПК.

При переработке влажного материала значительно падает нагрузка на шнек. При незначительной влажности никаких дефектов при этом не происходит. Гигроскопичность была исследована при нахождении во влажном (80%) воздухе. Результаты исследования влажности материала при нахождении во влажном воздухе приведены на рис. 2. Следует отметить, что при тех же условиях влажность дерева достигает 20%. Были также проведены исследования гигроскопичности композита в зависимости от степени наполнения (рис. 3).

Полученные данные подробно характеризуют достаточно высокую гигроскопичность материала и обосновывают необходимость тщательной сушки материала для устранения дефектов в процессе литья под давлением.

Было проведено исследование влияния состава на реологические свойства композита на основе древесной муки и ВПП методом математико-статистического планирования эксперимента. На основании полученных гиперповерхностей отклика для показателя качества строились линии равных значений или контурные линии, графики которых приведены на рис. 4. Цифра на контурной линии обозначает значение показателя качества.

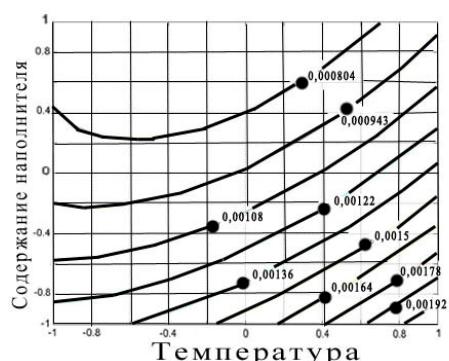


Рис. 4. Изолинии вязкости, полученные методом активного эксперимента.

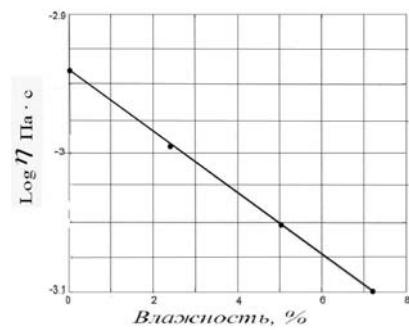


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости от влажности ДПК при $\sigma = 4,89 * 10^4 \text{ c}^{-1}$

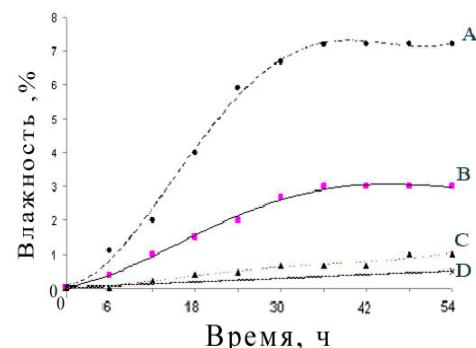


Рис. 2. Зависимость влажности ДПК от времени пребывания в помещении с влажностью 80%: А - 50%, В - 30%, С - 10%, Д - ВПП

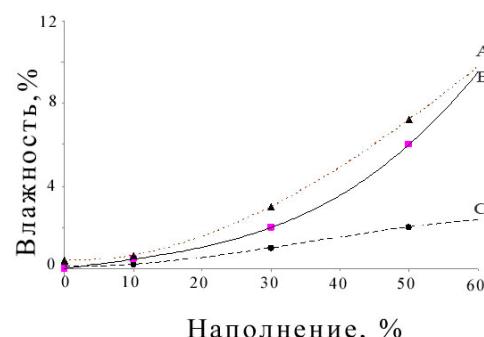
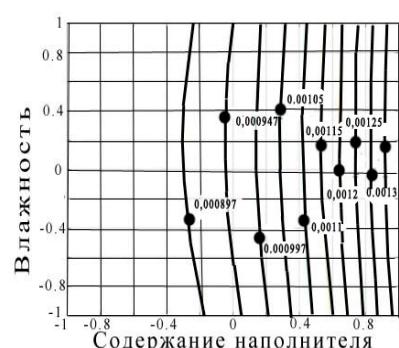


Рис. 3. Зависимость влажности ДПК от процента наполнения материала древесной мукой: А - после 12 ч., В - после 24 ч., С - после 36 ч



Выводы

В ходе проведенных исследований разрабатываемых ДПК на основе отходов полипропилена и органических отходов были определены оптимальное содержание влаги и ее влияние на технологичность материала.

Список литературы: 1. Михеев, Л. И. Новые экологически чистые материалы из отходов [Текст] / Л. И. Михеев // Экология и промышленность России. – 1996. - №7 - С. 44. 2. Коршун, О. А. Экологически чистые древесно-наполненные пластмассы [Текст] / О. А. Коршун, Н. М., Романов и др. // Строительные материалы. 1997. - №5.- С. 8-10. 3. Видгорович, А. И. Древесные прессовочные массы для изготовления деталей машин (обзор) [Текст] / А. И. Видгорович // Пластические массы. – 1985. - №11.- С. 44-47. 4. Табачник, Л. Б. Композиционные полимерные материалы [Текст] / Л.Б. Табачник // Пластические массы. -1992.-№ 4. - С. 32. 5. Алёхин, Ю. А. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов [Текст] / Ю. А. Алёхин, А. Н. Люсов – М.: Стройиздат, 1988.- 334 С.

УДК 665.9

Дослідження вологості деревино-полімерних матеріалів на вторинних полімерів/ В. В. Лебедєв, А. І. Карєв, С. О. Чавров// Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С. 77-79

Проведено дослідження вологості деревинно-полімерних композитів на основі відходів поліпропілену й органічних відходів і її вплив на технологічні характеристики зразків. Іл.: 4. Бібліогр.:5. назв.

Ключові слова: відходи, полімери, деревні, вологість, переробка.

UDC 665.9

Rheological researches of pollution-free wood-polymeric materials on the basis of a waste of polypropylene and an organic waste/ V. Lebedev, A.Karev, S.Chavrov// Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - №50(956). P. 77-79

Researches of humidity of wood and polymeric composites on the basis of a waste of polypropylene and an organic waste and its influence on technical characteristics on samples are carried out. Im.:3 : Bibliogr.: 6.

Keywords: a waste, polymers, wood, humidity, processing.

Надійшла до редакції 10.09.2012

УДК 66.041

Ю. Г. БАКЛНОВ, студент, НТУ «ХПИ», Харьков;

И. В. ПИТАК, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков;

В. Ф. МОИСЕЕВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков;

Н. А. БУКАТЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Невозможно перечислить все виды газоочистительного оборудования и описать принципы их работы в одной статье, но ясно одно, что создание безопасной окружающей среды на предприятиях является одной из первостепенных задач. Экологическая состоятельность производств возможна только в том случае, если предприятие «группы риска» заботится о чистоте внутренней и внешней среды. Из.: 0. Библиогр.: 4 назв

Ключевые слова: Анализ, газоочистное оборудование, пыль, очистка воздуха, аппарат

Введение

В настоящее время применение газоочистного оборудования становится

© Ю. Г. БАКЛНОВ, И. В. ПИТАК, В. Ф. МОИСЕЕВ Н. А. БУКАТЕНКО, 2012

обязательным на промышленных предприятиях с целью защитить здоровье рабочих предприятия внутри помещения и предотвратить попадание в окружающую среду пыли и других отходов. В нашей стране в основном применяется газоочистное оборудование следующих типов: циклоны, скруббера и рукавные фильтры.

Использование циклонов и тканевых фильтров

Циклоны используются в основном как фильтры грубой (предварительной) очистки. Принцип их работы в том, что благодаря их конструкции воздух закручивается внутри, и крупные частицы пыли под действием центробежных сил ударяются от стенки циклона и затем оседают в накопитель. Остаточная концентрация пыли в воздухе после циклона достаточно высокая, особенно в случае наличия мелкодисперсной пыли, поэтому для дополнительной очистки воздуха затем применяются еще и тканевые фильтры.

Газоочистное оборудование с тканевыми фильтрами различается по методам их самоочистки. Сейчас используются в основном такие способы очистки фильтров, как встряхивание, обратная продувка, импульсное встряхивание и звуковая очистка.

Также тканевые фильтры различаются по фильтровальным материалам, из которых они сделаны. Выбор фильтровального материала зависит в первую очередь от температуры среды, в которой будет работать фильтр, а также от свойств пыли, от которой он будет очищать воздух. В настоящее время все еще используются фильтры из натуральных фильтровальных материалов, таких как хлопок или шерсть, но в основном современные фильтровальные материалы делают из синтетических волокон – полиэстера, поливинилхлорида, акрила, полиамида и других. Широко применяется стекловолокно, которое может работать при высоких температурах и имеет высокую сопротивляемость химическим веществам.

Воздушный фильтр рукавного типа представляет собой растягивающийся цилиндр из фильтрующего материала на металлических каркасных кольцах. Один конец такой конструкции открыт для забора загрязнённого воздуха, а второй обычно заглушен. Воздух, проходя через систему таких рукавов, очищается от пыли и вредных газообразных примесей и отдаётся обратно в помещение. Способ очистки воздуха через рукавные фильтры достаточно эффективен, но имеет значительный недостаток – приходится часто менять фильтрующие элементы.

«Фильтрующим элементом» электрофильтра является магнитное поле. Попадая в пространство между электродами, один тип из которых называется коронирующими электродами, а второй – осадительными, под воздействием поля загрязняющие воздух частицы осаждаются на осадительных электродах, откуда накопленная субстанция удаляется «сухим» или «мокрым» способами.

Одиночные и батарейные циклоны употребляются на предприятиях с высокой запылённостью. Принцип работы циклона основан на поступательном вращении потока загрязнённого воздуха, при котором пылевые частицы покидают воздушную струю под воздействием центробежных сил. Частицы пепла и сажи, проходящие через дымосос, также сепарируются при помощи центробежного ускорения.

Невозможно перечислить все виды газоочистительного оборудования и описать принципы их работы в одной статье, но ясно одно, что создание безопасной окружающей среды на предприятиях является одной из первостепенных задач. Экологическая состоятельность производств возможна только в том случае, если руководство предприятий «группы риска» заботится о чистоте внутренней и внешней среды. Не надо забывать то, о чём мы уже говорили в самом начале: экология тесно связана с этическими принципами отношения человека к окружающему миру и к

своим собратьям.

Использование электрофильтров

Электрофильтры представляют собой установки, в которых очистка газов от взвешенных твердых и жидкых частиц осуществляется под действием электрических сил.

Электрофильтры не применяются, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образовываться в ходе технологического процесса.

Работа электрофильтра основана на процессе осаждения электрически заряженных частиц пыли в электрических полях. Электрическая зарядка частиц осуществляется в поле коронного разряда, возникающего в электрическом поле между коронирующими (высоковольтными) и осадительными (заземленными) электродами.

В конструкции некоторых электрофильтров, в процессе осаждения улавливаемых частиц используются вместе с электрическими аэродинамические силы газового потока.

Электрофильтр состоит из стального корпуса, в котором размещается механическое оборудование - активная часть электрофильтра.

Корпус электрофильтра имеет прямоугольное сечение, к торцам которого крепятся: на входе газа - диффузор, на выходе газа - конфузор. В нижней части корпуса расположены бункера для сбора и удаления уловленной пыли. Корпус снаружи покрыт теплоизоляцией и профилированным листом для защиты его от охлаждения и влаги.

Коронирующие электроды подключены к высоковольтному источнику питания постоянного тока. Осадительные электроды заземлены.

Для питания электрофильтра постоянным током высокого напряжения могут использоваться агрегаты питания преобразующие переменный ток напряжением 380/220 в постоянный, напряжением от 50 до 150кВ. Выпрямленный ток высокого напряжения от агрегатов питания подается к коронирующим электродам электрофильтра.

При подаче тока высокого напряжения на коронирующие электроды, между коронирующими и осадительными электродами возникает электрическое поле, напряженность которого можно изменять путем регулирования напряжения питания. При увеличении напряжения до определенной величины между электродами образуется коронный разряд, в результате чего возникает направленное движение заряженных частиц к электродам.

Микропроцессорная система управления агрегатом питания позволяет достигать максимальных значений тока и напряжения в поле электрофильтра. Такой режим обеспечивает максимально возможную эффективность электрофильтра.

При прохождении газов через межэлектродное пространство электрофильтра, содержащих взвешенные частицы, происходит их зарядка движущимися ионами. Заряженные взвешенные частицы под действием электрического поля движутся к осадительным электродам и осаждаются на них. Большая масса частиц осаждается на осадительных электродах электрофильтра и удаляется путем встряхивания.

Для встряхивания пыли с электродов используются молотки, закрепленные на горизонтальном валу веерообразно, по одному - на каждый осадительный электрод. После удара молотка по наковальне импульс от удара передается на все элементы осадительного электрода. Уловленная пыль с осадительных элементов осыпается в

нижнюю часть электрофильтра (бункер).

Далее пыль удаляется шнеком, пневмо насосами в накопительный бункер.

Для равномерного распределения газов по всему сечению электрофильтра, а также для исключения прохода газов вне активной зоны очистки, он снабжен устройствами, состоящими из газораспределительных решеток, установленных в диффузоре и конфузоре электрофильтра, газоотсекающих листов, установленных в бункере первого поля, щитов, установленных в бункерах второго поля и газоотсекателей, закрепленных на боковых стенках корпуса на входе в поля.

Преимущества электрического пылеулавливания:

- возможность работы при высоких температурах до 425°C;
- работа установки в среде перенасыщенной влагой;
- возможность работы электрофильтра в агрессивных средах;
- возможность продолжительной работы установки за пределами технологических параметров, предусмотренными картой эксплуатации;
- низкое гидравлическое сопротивление установки ~200 Па;
- низкие эксплуатационные расходы;
- простота в обслуживании;
- высокая надежность узлов и механизмов.

Применение рукавных фильтров

Рукавные фильтры - надежные и эффективные пылеулавливающие аппараты, предназначенные для сухой очистки промышленных газов. Рукавный фильтр представляет собой металлический корпус, разделенный перегородками на секции, в каждой из которых размещена группа фильтрующих рукавов подвешенных на монтажных (опорных) решетках.

Регенерация (очистка) рукавов фильтра происходит поочередно кратковременными импульсами сжатого воздуха. Управление регенерацией осуществляется контроллер, который задает частоту и продолжительность импульсов по перепаду давления при помощи дифманометра. Регенерация осуществляется сжатым воздухом, давлением 3...6 бар без содержания воды и масла класса 9.

Фильтровальные рукава, сшитые из фильтрующего нетканого иглопробивного материала подбираются в зависимости от условий эксплуатации и состава пыли.

Существующие фильтровальные материалы могут применяться:

- при повышенной влажности;
- в кислотно-щелочной среде;
- при высоких температурах;
- в условиях высокой абразивности газопылевого потока и других показателях, сохраняя при этом высокую эффективность фильтрации.

Внизу рукавного фильтра находится бункер для сбора пыли. Выгрузку пыли и герметичность обеспечивают двойная «мигалка» или шлюзовой питатель, винтовой транспортер (шнек).

Рукавные фильтры применяются для очистки промышленных газов от пыли при концентрации до 200 г/м³. На выходе рукавного фильтра очищенный воздух может содержать менее 10 мг/м³ пыли. Фильтры работают при температуре очищаемого газа в диапазоне -40 до +260°C, однако в исключительных случаях могут работать и при температуре до +350°C с использованием соответствующих материалов.

В зависимости от гранулометрического состава пыли и начальной запыленности степень очистки (КПД) может составлять 98-99,9% при объеме фильтруемого газа 0,4...1,6 м³/м² мин.

Аэродинамическое сопротивление рукавного фильтра при его эксплуатации колеблется в пределах 500...1600 Па.

Примерный расход электроэнергии может составлять 1 кВт·ч на 1000 м³ очищаемого газа.

Расчетное рабочее разряжение/давление внутри фильтра составляет 6500Па.

Список литературы: 1. Машини та апарати у хімічних, харчових і енеробних виробництвах [Текст]: підручник / Товажнянський Л. Л., Шапорев В. П., Моисеєв В. Ф., Пітак І. В. та ін. – Х.: Колегіум, 2011. – 606 с. 2. Пітак, І. В. Використання масообмінного контактного елементу для очищення газових викидів в вугільній промисловості [Текст] / І. В. Пітак, А. Ю. Масікевич, В. Ф. Моисеєв // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – № 53. – С. 130-138. 3. Пітак, І. В. Исследование процесса мокрого улавливания пыли в роторном вихревом аппарате [Текст] / И. В. Питак // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – № 17. – С. 135-140. 4. Пітак, І. В. Закономерности процесса очистки газовоздушных смесей в роторном вихревом аппарате [Текст]: дис. канд. техн. наук / И. В. Питак. – Х., 2008. – 149 с.

УДК 66.041

Аналіз сучасного газоочисного обладнання / Бакланов Ю. Г., Пітак І. В., Моисеєв В. Ф., Букатенко Н. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С. 79-83

Неможливо перелічити всі види газоочисного встаткування й описати принцип їхньої роботи в одній статті, але ясно одне, що створення безпечного навколошнього середовища на підприємствах є однією з першорядних завдань. Екологічна заможність виробництв можлива тільки в тому випадку, якщо підприємство "група ризику" піклується про чистоту внутрішнього й зовнішнього середовища. Іл.: 0. Бібліогр.: 4 назв.

Ключевые слова: аналіз, газоочисне обладнання, пил, очищення повітря, аппарат

UDC 66.041

Analysis of modern gas-cleaning equipment /Baklanov Y., Pitak I., Moiseev V., Bukatenko N. //Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P. 79-83

It is impossible to list all types of gas-cleaning equipment and describe how they work in the same article, but one thing is clear that the creation of a safe environment for enterprises is one of the priorities. Environmental viability of production is only possible if the company "at risk" cares about the cleanliness of internal and external environment. Im.: 0: Bibliogr.: 4

Keywords: analysis, gas treatment equipment, dust, cleaning the air, the unit

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 615.9:577.121:[615.3+632.95+547]

Н. Г. ЩЕРБАНЬ, д-р мед. наук, проф., Харьковский национальный медицинский университет, Харьков

ОСОБЕННОСТИ НАРУШЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ОБМЕНА У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

На основе литературных данных и собственных экспериментальных исследований раскрыты биохимические механизмы нарушения микроэлементного обмена у теплокровных под воздействием поверхностно-активных веществ. Из.: 5. Библиогр.: 5 назв

© Н. Г. ЩЕРБАНЬ, 2012

Ключевые слова: микроэлементный обмен, поверхностно-активные вещества, экспериментальные животные.

Проблема охраны здоровья населения, а также объектов окружающей среды от загрязнения поверхностно-активными веществами (ПАВ) приобрела на сегодня в Украине высокую актуальность. Ассортимент используемых ПАВ в быту и отраслях производств всех форм собственности постоянно увеличивается. В каждом конкретном случае использования новых ПАВ необходимо проведение трудоёмких и сложных санитарно-токсикологических исследований, поскольку имеющийся массив научной информации свидетельствует о серьёзной опасности для здоровья человека этой группы химических загрязнителей, практических, всех сред обитания.

По мнению многих авторов значительное количество химических соединений этого класса обладают мембранотропным действием, способностью модулировать радиобиологические эффекты, вызывать свободнорадикальную патологию, подавлять клеточный и гуморальный иммунитет, оказывать мутагенный, гонадотропный и эмбриотоксический эффекты и др. [1-2].

Это в полной мере относится к фосфор- и азотсодержащим ПАВ, а также ПАВ на основе оксиэтилированных алкилфенолов, изононилфенолов и гликолей, которые широко используются в различных отраслях народного хозяйства[3].

Все известные ныне ПАВ можно разделить на две большие группы. К первой следует отнести ПАВ биологического происхождения, которые образуются в живых структурах и участвуют в различных функциях клетки и целого организма. Это эндогенные ПАВ. К ним относятся липиды, фосфолипиды, жирные кислоты и их соли, многие биологически активные вещества (простагландины, стероидные гормоны, цереброзиды, кардиолипин). Эндогенные ПАВ являются веществами преимущественно неионного происхождения. В их состав входят биологические ПАВ пищеварительного канала (желчь, ее компоненты), кожи, слизистых оболочек, сурфактанты легкого.

Вторую группу составляют синтезированные ПАВ Современная классификация синтезированных ПАВ, основана на терминологии, которая принята на III Международном конгрессе по ПАВ и рекомендована Международной организацией по стандартизации (ISO) в 1960 году. Основу ее составляет химическая структура соединений, что позволяет выделить четыре основных класса ПАВ: анионоактивные, катионоактивные, неионогенные и амфотерные. Представители каждого из этих классов различаются не только химическим строением, но и основными коллоидными свойствами, а также санитарно- гигиенической характеристикой. Каждый из четырех основных классов ПАВ в свою очередь разделяется на несколько основных групп. Так, анионные ПАВ подразделяются на шесть, неионогенные на одиннадцать, а катионные на шесть и амфотерные (амфолитные) на пять основных групп. Интенсивное развитие химии промышленного органического синтеза привело к тому, что в последние годы появились целые классы соединений по основным компонентам их синтеза, такие как азот-, фтор-, бор- фосфорсодержащие ПАВ, которые в свою очередь подразделяются на основные классы.

Многочисленными исследованиями установлено, что степень биохимического распада ПАВ зависит от химического строения. Биохимический распад детергентов - это сложный, многостадийный процесс, при котором каждая стадия катализируется собственными ферментами. Окисление детергентов под влиянием ферментов

активного ила обычно начинается с конца метильной группы алкильной цепи у анионных ПАВ с наиболее удаленной от сульфатной или сульфанатной группы. Окисление метильной группы, являющиеся наиболее трудным этапом в цепи биохимического распада ПАВ начинается с окисления конечного атома углерода с образованием гидроперекиси путем присоединения кислорода. Затем гидроперекиси превращаются в спирт, альдегид и далее в карбоновую кислоту, которая в свою очередь подвергается окислению.

Биохимический распад неионогенных ПАВ также зависит от длины и степени разветвления алкильной цепи и от длины полиэтиленгликоловой цепи. Как для анионных ПАВ, наличие разветвленных алкильных цепей, присутствие гомологов и изомеров тормозит процесс биохимического окисления. Неионогенные соединения с длиной цепи менее 6-7 атомов углерода распадаются биологически медленно. Наиболее устойчивы к биохимическому окислению оксиэтилированные алкилфенолы с разветвленной алкильной цепью с числом оксиэтильных групп больше 10.

По своей способности к биохимическому распаду детергенты можно разделить на три группы: мягкие – (степень окисления не менее 80%), промежуточные – (степень окисления 60-80%) и жесткие – (степень окисления менее 60%).

С целью обоснования особенностей биологического действия, установления пороговых и недействующих доз, был проведен подострый опыт на белых крысах. Продолжительность эксперимента составляла 1,5 месяца. Были испытаны дозы 1/10, 1/100 и 1/1000 от среднесмертельных.

Исследованиями установлено, что все соединения относятся к умеренно и малотоксичным соединениям (3-4 класс опасности). Большинство из них обладают способностью к кумуляции, коэффициенты кумуляции колебались от 2,2 до 9,5, что позволяет отнести их к веществам с выраженным, умеренно выраженным кумулятивными свойствами и только лапроксиды, коэффициент кумуляции которых больше 5, практически не обладали кумулятивным эффектом.

Среднесмертельные дозы для всех групп находились в интервале от 1,83 до 26,4 г/кг массы животного. В клинической картине отравления преобладали симптомы поражения ЦНС, сердечно-сосудистой системы и дыхания. Среднее время гибели животных в основном укладывалось в первые трое суток опыта. Изменения во внутренних органах были сходными и характеризовались полнокровием внутренних органов, дистрофическими изменениями во внутренних органах и головном мозге.

При этом следует отметить, что наиболее существенные изменения регистрировали при действии азотсодержащих ПАВ, наименее – неонолов, а фосфорсодержащие занимали промежуточное положение.

Важное место в настоящей работе отведено исследованиям микроэлементного состава внутренних органов и тканей. Детергенты, в большинстве случаев, приводили к снижению, увеличению и перераспределению микроэлементов цинка, натрия, калия, кальция, меди, магния, железа в сердце, печени, почках, надпочечниках, селезенке и крови. Известно, что между содержанием микроэлементов в органах и тканях и активностью ферментов существует тесная взаимосвязь. Так, содержание меди и активность медьюсодержащих белков-ферментов: церулоплазмина, цитохромоксидазы, моноаминоксидазы, а также железа и активность железосодержащих ферментов: сукцинатдегидрогеназы, пероксидазы, каталазы, глутатионпероксидазы были снижены в органах и тканях. Ингибиование ферментов в некоторой степени устраняется глутатионом, который защищает активные центры от действия перекисей и других соединений.

Снижение содержания меди в органах и тканях явилось одной из причин инактивации моноаминооксидазы, что в свою очередь может привести к уменьшению дезинтоксикации протеиногенных аминов, нарушению процессов дыхания и окислительного фосфорилирования, а также нарушению обмена биогенных моноаминов, которые являются медиаторами действия регуляторных систем.

При действии ПАВ снижалась активность и других медьсодержащих ферментов – церулоплазмина и цитохромоксидазы, которые играют большую роль в окислительно-восстановительных процессах организма. Во всех случаях отмечено снижение содержания железа в сыворотке крови и снижение активности железосодержащих ферментов: пероксидазы, каталазы, сукцинатдегидрогеназы, глутатионпероксидазы. Рядом авторов было показано, что недостаток меди в организме вызывает развитие гипохромной анемии. Применение препаратов железа в таких случаях не восстанавливает прежний уровень гемоглобина, а введение препаратов меди в комбинации с железом усиливает эритропоэз и возвращает уровень гемоглобина к исходным цифрам. Известно, что медь необходима для снижения гемоглобина в присутствии железа и стимулирующего ее влияния на созревание ретикулоцитов. Роль меди в гемопоэзе состоит в том, чтобы мобилизовать депонированное железо и обеспечить переход минеральных форм железа в органические, тем самым способствовать синтезу гемоглобина. Механизм действия меди на кроветворение Считается, что церулоплазмин – это ферроксидаза-энзим, окисляющий двухвалентное железо в трехвалентное. Церулоплазмин, окисляя железо, способствует включению этого иона в белок трансферрин, который отдает свое железо клеткам костного мозга, где происходит синтез эритроцитов. Инактивация церулоплазмина и снижение содержания меди может нарушать включение железа в трансферрин. Следует отметить, что этот механизм мог быть одной из причин снижения эритроцитов и гемоглобина в крови под воздействием детергентов.

По данным литературы, одной из причин снижения микроэлементов в органах и тканях является изменение конформации белковых молекул под влиянием накопившихся перекисей, гидроперекисей, свободных радикалов. При таких условиях ионы металлов не могут встроиться в активный центр ферментов и выводятся из организма. Имеются сведения о том, что перекисные соединения липидов образуют с ионами металлов достаточно прочные соединения. Они конкурируют за определенный микроэлемент в биологической системе с ферментом.

Выводы

Данные наших исследований показали, что детергенты, активируя перекисное окисление липидов, приводят к накоплению в организме экспериментальных животных перекисей, гидроперекисей, малонового диальдегида. Подвергаясь биотрансформации, эти соединения, окисляясь, накапливают в организме альдегиды, кетоны, спирты. Данные соединения, как известно, способны изменять полимеризацию белковых структур, а в таких условиях ионы металлов не способны встраиваться в активный центр и выводятся из организма. Следует отметить, что продукты перекисного окисления липидов – альдегиды, кетоны, перекиси, гидроперекиси – действуют как хелатирующие агенты, а образовавшиеся комплексы с ионами металлов выводятся из организма. Это может быть общей причиной снижения содержания микроэлементов в органах и тканях и активности ферментов под воздействием изученной группы ПАВ.

Список литературы: 1. Проданчук Н. Г., Мудрый И. В. Эколо-гигиенические проблемы охраны окружающей среды и здоровья человека на современном этапе // Довкілля та здоров'я. - 2000. - № 4. - С. 2-5. 2. Щербань Н. Г. Методические аспекты использования методологии оценки риска здоровью населения при воздействии факторов окружающей среды в Украине и России / Н. Г. Щербань, В. В. Мясоедов, Е. А. Шевченко. // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н.Каразіна.-2010.-№898 серія: Медицина, вип.. 19.-С.97-103. 3. Щербань Н. Г. Биохимические механизмы структурно-функциональных нарушений в организме экспериментальных животных под влиянием токсических химических веществ/Щербань Н. Г., Мясоедов В. В., Шевченко Е. А// Ж. Экология и промышленность.-№4.-2010.-С.12-15. 4. Щербань Н. Г. Биохимические аспекты экологической патологии, связанной с химическим загрязнением поверхностных источников водоснабжения/Н. Г. Щербань, Жуков В. И., Мясоедов В. В.; под общ. ред. Н. Г. Щербаня: Харьков,2011.-175с.

УДК 615.9:577.121:[615.3+632.95+547]

Особливості порушення мікроелементного обміну у експериментальних тварин під впливом поверхнево-активних речовин / Щербань М. Г./// Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С. 83-87
На основі літературних даних і власних експериментальних досліджень розкриті біохімічні механізми порушення мікроелементного обміну у теплокровних під впливом поверхнево-активних речовин. Іл.: 0. Бібліогр.: 4 назв.

Ключові слова: мікроелементний обмін, поверхнево-активні речовини, експериментальні тварини.

UDK 615.9:577.121:[615.3+632.95+547]

Especially violations microelement metabolism in experimental animals exposed surface-active agents / Scherban N. G. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - №50(956). P. 83-87

Based on the literature and our own research disclosed eesperimentalnyh biochemical mechanisms of disorders of trace element metabolism in warm-blooded under the influence of surface-active substances. Im.: 0: Bibliogr.: 4

Keywords: trace element metabolism, surfactants, experimental animals.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 658.827:659.154

A. A. ДУБІНІНА, канд. техн. наук, проф., зав. каф., ХДУХТ, Харків;

C. O. ЛЕНЕРТ, канд. техн. наук, ст. виклад., ХДУХТ, Харків;

O. C. КРУГЛОВА, ст. виклад., ХДУХТ, Харків

ОЦІНКА ПАРОПРОНИКОСТІ І ВОДОПОГЛИНАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПАКУВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ СКЛАДОВИХ

Проведено дослідження паропроникності і водопоглидання розробленого комбінованого пакувального матеріалу на основі природних складових. Іл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: забруднення оточуючого середовища, біополімери, біодеградуючий пакувальний матеріал, водопоглидання, паропроникність.

Вступ

Для збереження продуктів харчування використовується широкий асортимент пакувальних матеріалів, які мають різноманітні властивості. Вимоги до пакувальних

© A. A. ДУБІНІНА, С. О. ЛЕНЕРТ, О. С. КРУГЛОВА, 2012

матеріалів визначаються їх функціональним призначенням і обумовлені експлуатаційними чинниками. Умовно чинники, що діють на систему в процесі експлуатації, можна розділити на внутрішні і зовнішні. Зовнішні чинники можуть мати різну природу: механічну (статичні і ударні навантаження, вібрація тощо); кліматичну (температура, вологість повітря і їх різке коливання); біологічну (дію мікроорганізмів). До внутрішніх чинників відносяться: хімічна стійкість матеріалу, внутрішній тиск, а також знос упаковки під дією упакованих продуктів [1].

Незважаючи на очевидний прогрес у пакувальній галузі, сьогодні немає таких пакувальних матеріалів, які б відповідали усім експлуатаційним вимогам. Тому перспективним напрямком є використання комбінованих пакувальних матеріалів, у яких чергуються шари різних за природою матеріалів. Поряд з цим невідмінним критерієм створення упаковки сьогодні є її екологічність, що пов'язана з натуральністю і безпечністю компонентів. Перспективним рішенням цієї проблеми є освоєння широкого спектру природних полімерів і їх композитів, які мають здатність біорозкладатися у природному середовищі [2].

Однак, при розробці пакувальних матеріалів та вибору найбільш підходящої упаковки для харчових продуктів бар'єрні властивості мають виключно важливе значення. Паропроникність є одним з найважливіших властивостей пакувальних матеріалів, яка непрямо свідчить про збереженість маси продукту в процесі його зберігання за рахунок попередження випаровування вологої з продукту. Водопоглинання пакувального матеріалу – важливий показник з точки зору його експлуатації. При насиченні матеріалу водою знижується його міцність, збільшується щільність і можливі руйнівні процеси [3].

Мета роботи

Метою роботи було розробка комбінованого пакувального матеріалу на основі природних складових та вивчення його бар'єрних властивостей, а саме паропроникності та водопоглинання.

Методика експериментів

Вимірювання паропроникності зразків комбінованого пакувального матеріалу проводили гравіметричним методом за ГОСТ 25898-83 [4], сутність якого полягає у визначенні кількості водяної пари, яка проходить через зразок, шляхом вимірювання маси ємності і подальшим розрахунком коефіцієнту паропроникності.

Вимірювання водопоглинання поверхнею зразків комбінованого пакувального матеріалу проводили гравіметричним методом. Проведення випробувань полягає у наступному. В скляну ємність діаметром 10...15 см поміщають поролон товщиною 2...3 см та заливають дистильованою водою до повного змочування поролону. З підготованих зразків вирізають кола відповідного діаметру. Одночасно виготовляють не менш трьох зразків кожного об'єкта. Крайові сторони обробляються парафіном. Попередньо зважені зразки укладають на поролон досліджуваною поверхнею вниз, так щоб вільна від парафіну поверхня була повністю змочена водою. Через 1, 3, 6, 10 та 24 години зразки виймають з води, ретельно видаляють краплі води фільтрувальним папером та зважують.

Водопоглинання розраховують за формулою:

$$W = \frac{M}{S} \times t^{0,5},$$

де M – приріст ваги, кг;

S – площа водопоглинання, m^2 ;

t – час, год.

При розрахунку слід відкидати значення з аномально високим водопоглинанням, так як це пов'язано з наявністю дефектів у покритті матеріалу [5].

Об'єктом дослідження слугував розроблений пакувальний матеріал на основі картону з нанесеним на нього полімерним та восковим покриттям [6]. Зразки готували в лабораторних умовах на кафедрі товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі. Контролем слугував комбінований матеріал для асептичної упаковки Tetra-Pack Classic Aseptic. Також для порівняння використовували картон без покриття і картон з хітозановим покриттям.

Обговорення результатів

Порядок чергування шарів у розробленому комбінованому пакувальному матеріалі визначається його функціональним призначенням, а саме упакування фруктово-овочевих паст і соусів. Так, зовнішній шар – картон – здійснює механічний захист від зовнішнього впливу, а також слугує основою для нанесення друку. Середній шар – хітозанова плівка – за рахунок високих бактерицидних властивостей [7] забезпечує бар'єр для потрапляння та розмноження в упаковці патогенної мікрофлори. Внутрішній шар – воск – забезпечує гідрофобність поверхні, що контактує з продуктом [8]. Монолітність комбінованого пакувального матеріалу досягається за рахунок адгезії між шарами матерілів [9].

У більшості випадків модифіковані матеріали (у нашому випадку гідрофобізовані воском) залишаються пористими і можуть пропускати водяну пару і повітря, так як мікропори між матеріалом та покриттям залишаються. Оскільки бар'єрні властивості пакувальних матеріалів мають виключно важливе значення, за доцільне вважали визначення водопоглинання і проникність пари крізь розроблений пакувальний матеріал. Для визначення оптимального складу комбінованого пакувального матеріалу у дослідженні використовували матеріали з різною кількістю шарів хітозану та воску. Результати досліджень наведено на рис. 1.

Результати порівняльного дослідження паропроникності комбінованого пакувального матеріалу свідчать, що збільшення кількості шарів полімерного покриття на основі хітозану практично не призводить до значних змін коефіцієнта паропроникності. Так, матеріал з хітозановим покриттям у один шар має паропроникність $16 \text{ г}/\text{м}^2$, тоді як матеріал з трьома шарами полімерного покриття – $14,9 \text{ г}/\text{м}^2$. Незначна різниця за показником паропроникності свідчить про недоцільність збільшення шарів полімерного хітозанового покриття у складі комбінованого пакувального матеріалу, що призведе до збільшення вартості матеріалу.

До комбінованих пакувальних матеріалів, застосовуваних для контакту з високовологими харчовими продуктами, такими як фруктово-овочеві пасті і соуси, пред'являються принципово інші вимоги у порівнянні з пакувальними матеріалами для сухих харчових продуктів.

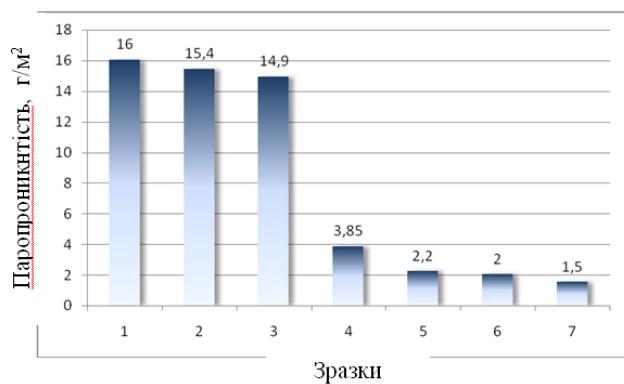


Рис. 1. Паропроникність картону-основи з покриттям: 1 – одношарове хітозановою плівкою; 2 – двошарове хітозановою плівкою; 3 – тришарове хітозановою плівкою; 4 – одношарове воском; 5 – двошарове воском; 6 – тришарове воском; 7 – синтетичний комбінований пакувальний матеріал

На такі пакувальні матеріали діють підвищена вологість та агресивне середовище. Як наслідок, внутрішнє покриття комбінованого пакувального матеріалу повинно мати високу водостійкість, тобто мінімальне водопоглинання. Враховуючи те, що хітозанове покриття є гідрофільним, у дослідженнях використовували лише пакувальні матеріали з різною кількістю гідрофобних воскових шарів і порівнювали з синтетичним комбінованим пакувальним матеріалом. Результати досліджень наведено на рис. 2.

Як видно з представлених даних, кількість шарів воскового покриття оберненопропорційно впливає як на показник паропроникності, так і на водопоглинання.

Розроблений комбінований пакувальний матеріал з одним шаром воскового покриття має водопоглинання майже у 6 разів більше, ніж матеріал з трьома шарами. При цьому при нанесенні

трьох шарів воскового покриття вдається знизити водопоглинання до показника синтетичного комбінованого пакувального матеріалу, а саме з 0,59 до $0,1 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$.

Висновки

Нанесення воскового шару на поверхню комбінованого пакувального матеріалу спричиняє позитивний ефект на показник паропроникності. Для всіх зразків пакувального матеріалу з восковим покриттям простежується зменшення паропроникності на 76% порівняно зі зразками без воскового покриття. Показник паропроникності для зразків матеріалу з 2...3 шарами воску зменшується у 8 разів та максимально наближається до середніх показників паропроникності для синтетичного комбінованого пакувального матеріалу. Нанесення на картон-основу воскового покриття, призводить до значної гідрофобізації його поверхні, а відповідно – і до зростання його вологості. Таким чином, на паропроникність і водопоглинання покриття впливає не стільки склад шарів, скільки їх кількість.

Список літератури: 1. Технические свойства полимерных материалов. Справочник [Текст] / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Пониматченко, Ю. В. Крыжановская. - СПб.: Профессия, 2003. 240 с. 2. Дубініна, А. А. Упаковка харчових продуктів з полімерних матеріалів : моногр. [Текст] / А. А. Дубініна, Г. А. Синицина, О. Г. Мошник [та ін.]. – Х.: Факт, 2011. – 399 с. 3. Каверин, В. А. Выбор, изготовление, испытания тары и упаковки [Текст] / В. А. Каверин, К. П. Феклин, МГУП. - М.: изд-во МГУП, 2002. – 260 с. 4.4. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию [Текст]: ГОСТ 25898-83. – Введ. 01.01.74. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 9 с. 5. Каверин, В. А., Феклин К. П. Упаковочные машины, аппараты, материалы. Лабораторный практикум. [Текст] / В. А. Каверин, К. П. Феклин, МГУП. М., 2004. – 164 с. 6. Матеріал пакувальний комбінований. Технічні умови [Текст]: ТУ У 17.1-01566330-270:2012. / Черевко О. І., Дубініна А. А., Онищенко В. М., Круглова О. С.–Введ. 23.04.2012. – Держспоживстандарт України, ДП «Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації», 2012. – 20 с. 7. Дубініна, А. А. Вивчення бактерицидних властивостей плівок на основі природних компонентів [Текст] / А. А. Дубініна, Т. М. Летута, О. С. Круглова // Прогресивна технологія харчових

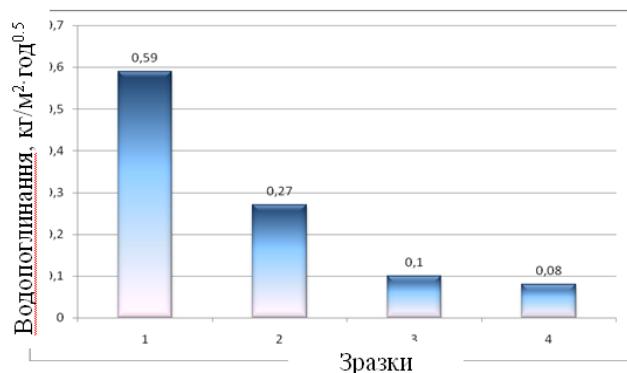


Рис. 2. Водопоглинання комбінованого пакувального матеріалу з покриттям: 1 – одношарове воском; 2 – двошарове воском; 3 – тришарове воском; 4 – синтетичний комбінований пакувальний матеріал

виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць – Х.: ХДУХТ. Вип. 2 (10), 2009. – с. 164-168. **8. Дубініна, А. А.** Визначення гідрофобності нового пакувального матеріалу [Текст] / A. A. Дубініна, O. C. Круглова // Сучасний ринок товарів та проблем здорового харчування: мат-ли Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (20-21 жовтня 2011 р.). – Х.: ХДУХТ. **9. Dubinina, A.** Studing of the power of adhesive connection of chitosan film with paper (cardboard) [Text] / A. Dubinina, S. Lehnert, O. Kruglova // 11th International commodity science conference on the occasion of 85th anniversary of Poznań university of economics (12-14.09.2011) – Poland, Poznan. – P. 9.

УДК 658.827:659.154

Оценка паропроницаемости и водопоглощения комбинированного упаковочного материала на основе натуральных составляющих/ А. А. Дубинина, С. А. Ленерт, О. С. Круглова // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - № 50(956). С. 87-91

Проведены исследования паропроницаемости и водопоглощения разработанного комбинированного упаковочного материала на основе натуральных составляющих. Из.: 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, биополимеры, биодеградирующий упаковочный материал, водопоглощение, паропроницаемость.

UDC 658.827:659.154

Evaluation of vapor permeability and water absorption by combined packing material based on natural ingredients / A. Dubinina, S. Lehnert, O. Kruglova// Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - №50(956). P. 87-91

Researches of vapor permeability and water absorption by combined packing material based on natural ingredients. Im.: 2 : Bibliogr.: 9.

Keywords: pollution, biopolymers, biodegradable packaging material, water absorption, water vapor permeability.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 664.3 : 547

A. П. МЕЛЬНИК, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків;
Т. В. МАТВЄЄВА, канд. техн. наук, с. н. с., НТУ «ХПІ», Харків;
Г. В. ГРИГОРОВА, магістр, НТУ «ХПІ» , Харків;
Т. І. МАРЦЕНЮК, інженер, УкрНДІгаз, Харків

КІНЕТИКА І ТЕРМОДИНАМІКА РЕАКЦІЇ АМІДУВАННЯ КУКУРУДЗЯНОЇ ОЛІЇ ДІЕТАНОЛАМИНОМ

Досліджено реакцію амідування кукурудзяної олії діетаноламіном при температурах 433 – 473 К і мольних відношеннях реагентів 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3. Знайдено кінетичні та термодинамічні параметри реакції. Запропоновано кінетичну модель реакції. Оцінено похибку розрахунків за даною кінетичною моделлю. Іл.: 1. Бібліогр.: 6 назв.

Ключові слова: моноацилгліцирини, діацилгліцирини, триацилгліцирини, кінетика, термодинаміка, кінетична модель.

Моно-і діацилгліцирини (МАГ, ДАГ) це складні ефіри гліцирину і різних жирних кислот. Вони є найбільш поширеними харчовими емульгаторами як з точки зору їх популярності, так і за обсягами використання. Промислово виробляються три типи стандартних моно-і діацилгліциринів: з вмістом α-моноацилгліциринів 40 – 46 % мас.,

© А. П. МЕЛЬНИК, Т. В. МАТВЄЄВА, Г. В. ГРИГОРОВА, Т. І. МАРЦЕНЮК, 2012

52 – 56 % мас. і дистильовані моногліцеріни з 90 % мас. вмістом α -моногліциринів. Їх консистенція може бути різною: твердої, м'якої або проміжної консистенції і залежить від фізичних властивостей харчового жиру або олії, які використовують в реакції алкоголя під час одержання моно- і діацилгліциринів. Консистенція моно- і діацилгліциринів, яка характеризується йодним числом або температурою топлення, визначає функціональне призначення емульгатора [1].

Зазвичай для отримання стійкої емульсії перевагу віддають МАГ та ДАГ з більш високою температурою топлення. Емульгатори з невеликою температурою топлення забезпечують кращу здатність аерування. Моно- і діацилгліцирини з середньою температурою топлення застосовують для виробництва різних продуктів. Так, наприклад, у виробництві хлібобулочних виробів взаємодія емульгаторів з білками борошна зміцнює клейковину, що призводить до збільшення пластичності тіста, сприяє поліпшенню пористості, структури м'якушки, уповільненню черствіння. У маргарині дія моно- і діацилгліциринів визначає термін придатності, разбризкуваність при нагріванні і смакові властивості. У виробництві шоколаду, шоколадних глазурей додавання емульгатора впливає на кристалізацію какао-олії, знижує в'язкість і покращує текучість шоколадних мас. Додавання МАГ та ДАГ в сухе молоко, сухі вершки та супи полегшує і прискорює розведення сухих продуктів у воді. Емульгатори також застосовують для розподілення нерозчинних у воді ароматизаторів, ефірних олій, екстрактів прянощів в напоях і харчових продуктах.

Попередніми роботами [2-5] доказано, що МАГ можна отримувати не тільки гліцеролізом жирів та олій або етерифікацією жирних кислот гліцирином, але і амідуванням триацилгліциринів моноетаноламіном (МЕА) або діетаноламіном (ДЕА) і встановлено:

- ТАГ кукурудзяної олії реагує з ДЕА з утворенням ацилгліциринів (МАГ, ДАГ), гліцирину та азотовмісних продуктів;

- хімізм перетворень, за яким триацилгліцирини перетворюються в діацилгліцирини і діетаноламіди жирних кислот, діацилгліцирини – в моноацилгліцирини і діетаноламіди жирних кислот, а останні – в гліцирин та діетаноламіди жирних кислот;

- що збільшення мольного відношення реагентів сприяє збільшенню утворення діетаноламідів жирних кислот;

- що утворення моно-, діацилгліциринів відбувається за складними закономірностями з екстремумами, які залежать від умов реакції;

- що збільшення температури зумовлює збільшення швидкості всіх реакцій.

Дана робота присвячена знаходженню кінетичних і термодинамічних параметрів реакції амідування кукурудзяної олії діетаноламіном.

Зміни компонентного складу реакційних мас в залежності від часу реакції при температурі 473 К і мольному відношенню реагентів, як приклад, приведено на рис.1. Для визначення порядку

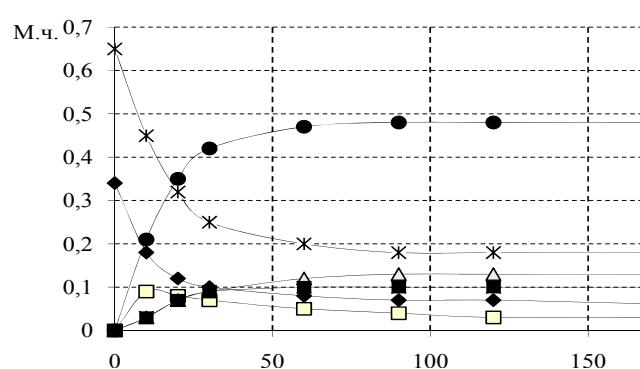


Рис. 1. Зміни концентрації компонентів реакційної маси від часу реакції при температурі 473 К та MB = 1:2

реакцій використано графічний метод.

Обробка кінетичних результатів за кінетичними законами рівнянь першого і другого порядку у редакторі програм Excel свідчать про те, що кінетичні криві лінеаризуються в координатах для реакцій другого порядку, а тому можна вважати, що досліджувана реакція підпорядковується закономірностям реакцій другого порядку.

Для них визначено константи швидкостей і термодинамічні параметри для різних мольних відношень реагентів.

На основі хімізму кінетичну модель взаємодії кукурудзяної олії з ДЕА можна представити у вигляді системи наступних диференційних рівнянь:

$$\frac{\partial T\text{A}\Gamma}{\partial \tau} = -K_1 \cdot C_{T\text{A}\Gamma} \cdot C_A \quad (1)$$

$$\frac{\partial D\text{A}\Gamma}{\partial \tau} = -K_2 \cdot C_{D\text{A}\Gamma} \cdot C_A + K_1 \cdot C_{T\text{A}\Gamma} \cdot C_A \quad (2)$$

$$\frac{\partial M\text{A}\Gamma}{\partial \tau} = K_2 \cdot C_{D\text{A}\Gamma} \cdot C_A - K_3 \cdot C_{M\text{A}\Gamma} \cdot C_A \quad (3)$$

$$\frac{\partial G\text{L}}{\partial \tau} = K_2 \cdot C_{M\text{A}\Gamma} \cdot C_A \quad (4)$$

$$\frac{\partial D\text{E}\text{A}}{\partial \tau} = -K_1 \cdot C_{T\text{A}\Gamma} - K_2 \cdot C_{D\text{A}\Gamma} \cdot C_A - K_3 \cdot C_{M\text{A}\Gamma} \cdot C_A \quad (5)$$

$$\frac{\partial D\text{E}\text{A}\partial}{\partial \tau} = K_1 \cdot C_{T\text{A}\Gamma} + K_2 \cdot C_{D\text{A}\Gamma} \cdot C_A + K_3 \cdot C_{M\text{A}\Gamma} \cdot C_A \quad (6)$$

Швидкості утворення чи зникнення ДЕА, діетаноламіду (ДЕАд), ТАГ, ДАГ, МАГ, ГЛ розраховано диференціюванням концентрацій цих речовин у часі за допомогою програмного пакету для обробки статистичних даних NCSS. Для вирішення системи з шести рівнянь було складено матриці коефіцієнтів при невідомих константах та матриці вільних членів, яку було розраховано в програмному пакеті Mathcad. Результати розрахунків констант швидкостей наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Розрахункові значення констант швидкостей для взаємодії ТАГ кукурудзяної олії та ДЕА при різних температурах

Температура, К	Константа швидкості $K \cdot 10^2$, 1/(мол.ч.·с.)		
	K_1	K_2	K_3
433	4,8832	9,832	3,555
453	5,822	9,926	4,842
473	8,18	18,57	6,13

Як видно з табл. 1, константи швидкості всіх реакцій з підвищеннем температури збільшуються. Реакція ДАГ з ДЕА характеризується найбільшу константою швидкості. За кінетичною моделлю знайдено зміни з часом компонентного складу реакційних сумішей. Для оцінки похибки, з якою дана модель описує експериментальні дані, розрахункові значення концентрацій ТАГ та ДАГ було порівняно зі значеннями концентрацій, які отримані експериментально і результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Порівняння розрахованих та експериментальних концентрацій ДАГ та ТАГ

Час хв.	Концентрація МАГ, мол частка			Похи бка, %	Концентрація ДАГ, мол частка			Похи бка %
	C _e	C _p	C _e -C _p		C _e	C _p	C _e -C _p	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,0322	0,0346	0,0024	7,45	0,09	0,072	0,02	19,67
20	0,0626	0,0736	0,01097	17,53	0,079	0,077	0,002	2,913
30	0,0879	0,0972	0,00938	10,67	0,064	0,067	0,003	4,69
60	0,1083	0,1835	0,0101	9,33	0,06	0,052	0,0075	12,63
90	0,119	0,1205	0,00154	1,29	0,05	0,048	0,002	4,0
120	0,1232	0,1304	0,0071	5,79	0,05	0,04	0,0055	12,17
180	0,1268	0,1294	0,00261	2,06	0,042	0,036	0,0053	12,6
Середня відносна похибка для МАГ			7,73	Середня відносна похибка для ДАГ			9,81	

Як видно з табл. 2, середня відносна похибка для МАГ становить 7,73 %, а для ДАГ 9,81 %. Таким чином дана математична модель може використовуватись для розрахунків поточних концентрацій даних компонентів реакційних мас. На основі знайдених констант швидкостей реакцій розраховано термодинамічні параметри реакцій взаємодії ТАГ кукурудзяної олії з ДЕА (табл. 3), з яких видно, що всі реакції ендотермічні ($\Delta H > 0$). Енергія активації в ряду реакцій ТАГ – ДАГ – МАГ спочатку збільшується до значення 26,67 кДж/моль, а потім зменшується до 23,22 кДж/моль. Значення ентропії реакцій мають дуже негативні значення.

Таблиця 3 - Термодинамічні параметри реакції взаємодії ТАГ кукурудзяної олії з ДЕА

Реагенти	Продукти реакції	E <i>a</i> , кДж/моль	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/моль	ΔG , кДж/моль
ТАГ+ДЕА	ДАГ+ДЕАд	21,84	19,57	-204,33	75,36
ДАГ+ДЕА	МАГ+ДЕАд	26,67	24,39	-182,22	74,14
МАГ+ДЕА	Гл+ДЕАд	23,22	20,95	-200,8	75,77

Таким чином, за отриманими результатами запропонована система рівнянь, яка адекватно описує швидкості утворення чи зникнення компонентів реакційних мас:

$$W_{TAG} = -K_{01} \cdot e^{\frac{E_1}{RT}} \cdot C_{TAG} \cdot C_A \quad (8)$$

$$W_{DAG} = -K_{02} \cdot e^{\frac{E_2}{RT}} \cdot C_{DAG} \cdot C_A + K_{01} \cdot e^{\frac{E_1}{RT}} \cdot C_{TAG} \cdot C_A \quad (9)$$

$$W_{MAG} = K_{02} \cdot e^{\frac{E_2}{RT}} \cdot C_{DAG} \cdot C_A - K_{03} \cdot e^{\frac{E_3}{RT}} \cdot C_{MAG} \cdot C_A \quad (10)$$

$$W_{Gl} = K_{02} \cdot e^{\frac{E_2}{RT}} \cdot C_{MAG} \cdot C_A \quad (11)$$

$$W_{DEA} = -K_{01} \cdot e^{\frac{E_1}{RT}} \cdot C_{TAG} - K_{02} \cdot e^{\frac{E_2}{RT}} \cdot C_{DAG} \cdot C_A - K_{03} \cdot e^{\frac{E_3}{RT}} \cdot C_{MAG} \cdot C_A \quad (12)$$

$$W_{DEBd} = K_{01} \cdot e^{\frac{E_1}{RT}} \cdot C_{TAG} + K_{02} \cdot e^{\frac{E_2}{RT}} \cdot C_{DAG} \cdot C_A + K_{03} \cdot e^{\frac{E_3}{RT}} \cdot C_{MAG} \cdot C_A \quad (13)$$

В результаті проведених досліджень встановлено порядок реакції; запропонована система рівнянь, яка описує швидкості утворення або зникнення компонентів реакційних мас і може бути використана для розрахунків поточних

концентрацій компонентів реакційних мас; розраховано термодинамічні параметри реакцій взаємодії ТАГ кукурудзяної олії з ДЕА.

Список літератури: 1. Горяев М. И. Синтез и применение моноглицеридов. – Алма-Ата.:Наука, 1975. – 135 с. 2. Мельник А. П., Матвеева Т. В. Дослідження кінетики одержання похідних алкілкарбонамідів із жирів // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ, 1999. – Вип. 33. – С. 46 – 48. 3. Мельник А. П., Матвеєва Т. В. До питання дослідження кінетики утворення похідних алкілкарбонамідів із жирів // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ, 1999. – Вип. 90. – С. 66 – 68. 4 Мельник А. П., Матвеєва Т. В. Технологія отримання моноетаноламідів із олій та жирів. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – №2, Ч. – С. 89 – 93. 5. Мельник А. П., Матвеєва Т. В., Папченко В. Ю. Отримання моноацилгліциерідів з триацилгліциерідів соняшникової олії // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – №41 – С. 56 – 60. 6. Мельник А. П., Матвеєва Т. В., Григорова Г. В. Щодо амідування кукурудзяної олії // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №58 – С. 44 – 48.

УДК 664.3 : 547

Кинетика и термодинамика реакции амидирования кукурузного масла диэтаноламином / Мельник А. П., Матвеева Т. В., Григорова А. В., Марценюк Т. И. // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – № 50(956). . – С. 91-95

Исследовано реакцию амидирования кукурузного масла диэтаноламином при температурах 433 – 473 К и мольных отношениях регентов 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3. Найдены кинетические и термодинамические параметры реакции. Предложена кинетическая модель реакции. Оценено ошибку расчетов по данной кинетической модели. Ил.: 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: моноацилглициерин, диацилглициерин, триацилглициерин, кинетика, термодинамика, кинетическая модель.

UDC 664.3 : 547

Kinetic and amidation of the reaction of amidation of corn oil by diethanolamine // Melnik A. P., Matveeva T. V., Grigorova A. V., Martsenyk T. I. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New decisions of modern technologies. – Kharkov NTU "KhPI". – 2012. - № 50(956). . – P. 91 – 95

The reaction of amidation of corn oil by diethanolamine have been investigated under temperatures 433 – 473 K and molar ratios 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3. The kinetic and thermodynamic parameters of the reaction have been found. A kinetic model of the reaction has been proposed. The error of calculations by this kinetic model has been estimated. Im.: 1. Bibliogr.: 6.

Keywords: monoacylglycerol, diacylglycerol, triacylglycerol, kinetic, thermodynamic, kinetic model.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 665.3

В. Ю. ПАПЧЕНКО, канд. техн. наук, НТУ “ХПІ”, Харків;
А. Н. ГУРТОВИЙ, м.н.с., УкрНДІОЖ НААН, Харків;
Т. Н. ЧУДНОВА, зав. лаб., ООО «Комбінат Каргілл», Донецьк

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ В'ЯЗКОСТІ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

У роботі розглянуто значення визначення кінематичної в'язкості соняшникової олії для харчової промисловості. Проведено експериментальні дослідження з визначення кінематичної в'язкості

© В. Ю. ПАПЧЕНКО, А. Н. ГУРТОВИЙ, Т. Н. ЧУДНОВА, 2012

соняшникової олії: високоолейової та класичної в діапазоні температур від 0 °C до +70 °C. Розроблено таблицю залежності кінематичної в'язкості соняшникових олій від температури за допомогою апроксимаційних залежностей. Іл.: 1. Бібліогр.: 2 назв.

Ключові слова: кінематична в'язкість, соняшникова олія, температура.

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості найважливішою умовою функціонування підприємств є випуск якісної, конкурентоспроможної продукції. Найбільш повно про якість харчового продукту можна судити, враховуючи його фізичні властивості. Так в'язкість натуральних жирів та олій має істотне значення при встановленні їх природної чистоти, як відомо, цей показник залежить від хімічного складу олії.

В'язкість натуральних жирів та олій коливається у відносно вузьких межах і її зміна зі зміною температури при олієвидобуванні має важливе значення. Так теплові розрахунки, які пов'язані з моделюванням відповідної апаратури, і гідродинамічні розрахунки, що обумовлені проектними роботами, вимагають внесення ясності в питання про залежність в'язкості від температури розплавів жирних кислот, а також розплавів жирів природних, полімеризованих та ін. [1].

Залежність в'язкості від температури у рослинних олій дуже важлива для олієвидобувної промисловості, зацікавленої в знаходженні оптимальних температурних умов для добування олії з насіння [1]. Не менш важливі завдання контролю деяких технологічних процесів, наприклад, процесу полімеризації рослинних олій, за допомогою систематичного вимірювання в'язкості, остання при цьому є вирішальним критерієм готовності продукту. Технологія очищення рослинних олій, розрахунки, які пов'язані з проектуванням трубопроводів для перекачування олій та жирів і проектуванням інший різноманітної апаратури, вимагають врахування в'язкості і знання залежності цієї величини від температури і ступеня насищення жирів [1].

Незважаючи на велике значення в'язкості рослинних олій, вона вельми мало висвітлена в літературі, оскільки майже відсутні точні вимірювання цих речовин. Крім того, на даний момент не існує гостовоаної методики визначення кінематичної в'язкості олій від температури. У зв'язку з цим виникла потреба в розробці таблиць залежності кінематичної в'язкості соняшникових олій від температури в діапазоні від 0 °C до +70 °C через 5 °C. Тому в УкрНДІОЖ НААН проведені дослідження мета яких полягає у визначенні кінематичної залежності в'язкості соняшникової олії (високоолейової і класичної) від температури.

Визначення кінематичної в'язкості олій проведено за допомогою віскозиметра капілярного скляного типу ВПЖ-2. Вимірювання в'язкості за допомогою капілярного віскозиметра засноване на визначені часу витікання через капіляр певного об'єму рідини з вимірювального резервуару. Значення кінематичної в'язкості соняшникових олій в залежності від температури, які отримано експериментально наведено в табл. 1.

Для обчислення наблизленого значення динамічної в'язкості рослинних олій при різних температурах у [2] використовується емпірична формула:

$$\lg \eta = \lg \eta_0 - \frac{t}{t \cdot a + b}, \quad (1)$$

де η – динамічна в'язкість олії при заданій температурі в спз; $\eta_0 = 175,1$ спз, динамічна в'язкість олії при температурі 0 °C; t – задана температура в °C; a , b – постійні коефіцієнти, $a = 0,3185$, $b = 38,68$.

Таблиця 1- Кінематична в'язкість високоолеїнової і класичної соняшникової олій

Температура, °C	Кінематична в'язкість, м ² /с	
	Високоолеїнова олія	Класична олія
1	268,4·10 ⁻⁶	193,7·10 ⁻⁶
6	192,7·10 ⁻⁶	134,1·10 ⁻⁶
12	141,6·10 ⁻⁶	102,0·10 ⁻⁶
20	93,9·10 ⁻⁶	68,8·10 ⁻⁶
30	62,7·10 ⁻⁶	49,6·10 ⁻⁶
40	42,0·10 ⁻⁶	35,6·10 ⁻⁶
50	30,4·10 ⁻⁶	25,2·10 ⁻⁶
60	22,4·10 ⁻⁶	19,5·10 ⁻⁶
70	17,4·10 ⁻⁶	16,4·10 ⁻⁶

Для обчислення кінематичної в'язкості, використовується апроксимуюча функція, за якою розраховуються коефіцієнти а, б, с:

$$\lg \nu = a - \frac{t}{b \cdot t + c}, \quad (2)$$

де ν – кінематична в'язкість олії при заданій температурі, в м²/с; t – задана температура в °C; a , b , c – коефіцієнти.

Знаючи коефіцієнти а, б, с розраховується кінематична в'язкість олії в заданому діапазоні температур.

Тому використовуючи значення кінематичної в'язкості з табл. 1, 2 і апроксимуючу функцію (2), розраховано коефіцієнти а, б, с для високоолеїнової і класичної соняшникової олій. Так для високоолеїнової соняшникової олії коефіцієнти рівні: а = 2,451; б = 0,311; с = 36,077; а для класичної соняшникової олії: а = 2,300; б = 0,394; с = 36,537.

Таблиця 2- Кінематична в'язкість високоолеїнової і класичної соняшникової олій

Температура, °C	Кінематична в'язкість, м ² /с	
	Високоолеїнова олія	Класична олія
0	281,9·10 ⁻⁶	199,4·10 ⁻⁶
5	207,9·10 ⁻⁶	147,9·10 ⁻⁶
10	157,0·10 ⁻⁶	112,9·10 ⁻⁶
15	121,1·10 ⁻⁶	88,4·10 ⁻⁶
20	95,2·10 ⁻⁶	70,7·10 ⁻⁶
25	76,1·10 ⁻⁶	57,7·10 ⁻⁶
30	61,8·10 ⁻⁶	47,8·10 ⁻⁶
35	50,8·10 ⁻⁶	40,2·10 ⁻⁶
40	42,3·10 ⁻⁶	34,3·10 ⁻⁶
45	35,7·10 ⁻⁶	29,6·10 ⁻⁶
50	30,4·10 ⁻⁶	25,8·10 ⁻⁶
55	26,1·10 ⁻⁶	22,7·10 ⁻⁶
60	22,6·10 ⁻⁶	20,1·10 ⁻⁶
65	19,7·10 ⁻⁶	18,0·10 ⁻⁶
70	17,4·10 ⁻⁶	16,2·10 ⁻⁶

Виходячи зі значень коефіцієнтів а, б, с для діапазону температур (0 ÷ +70) °C

через кожні 5 °C розраховано значення кінематичної в'язкості для високоолеїнової і класичної соняшникової олій. Отримані дані представлені в табл. 2.

Графіки залежності розрахункових і експериментальних даних кінематичної в'язкості від температури для високоолеїнової і класичної соняшникової олій приведено на рис.

Відносна різниця між експериментальними та розрахунковими значеннями кінематичної в'язкості від температури для високоолеїнової соняшникової олій не перевищує 1,8 % а для класичної соняшникової олій не перевищує 4,16 %, це підтверджує те, що розроблені таблиці можна використовувати для визначення кінематичної в'язкості соняшникових олій від температури.

Висновок: Експериментально високоолеїнової і класичної соняшникової олій в інтервалі температур 0 ÷ +70 °C. Використовуючи апроксимуючу функцію, розраховано значення кінематичної в'язкості цих олій в інтервалі температур 0 ÷ +70 °C через кожні 5 °C. Отримані розрахункові значення кінематичної в'язкості збігаються з експериментальними значеннями з відносною різницею, яка не перевищує 1,80 % для високоолеїнової соняшникової олій і 4,16 % для класичної соняшникової олій.

Список літератури: 1. Бравич Г. Б. Фазовая структура триглицеридов / Г. Б. Бравич – М, 1952. 2. Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. – Л., 1967. – Т.І. – 1053 с.

УДК 665.3

Дослідження залежності в'язкості соняшникової олії від температури / Папченко В. Ю., Гуртовий А. Н., Чуднова Т. Н. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 50(956). . – С. 95 – 99.

У роботі розглянуто значення визначення кінематичної в'язкості соняшникової олії для харчової промисловості. Проведено експериментальні дослідження з визначення кінематичної в'язкості соняшникової олії: високоолеїнової та класичної в діапазоні температур від 0 °C до +70 °C. Розроблено таблицю залежності кінематичної в'язкості соняшниковых олій від температури за допомогою апроксимаційних залежностей. Іл.: 1. Бібліогр.: 2 назв.

Ключові слова: кінематична в'язкість, соняшникова олія, температура.

UDC 665.3

Research sunflower oil viscosity on temperature / Papchenko V. Y., Gurtoviy A. N., Chudnova T. N. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies - Kharkiv: NTU "KhPI"- 2012. – № 50(956). . – P. 95 – 99.

In this paper we considered the value of the determination of kinematic viscosity of vegetable oils for the food industry. Experimental studies the kinematic viscosity of sunflower oils: high oleic and classical in the temperature range from 0 °C to +70 °C was determined. The table depending on the

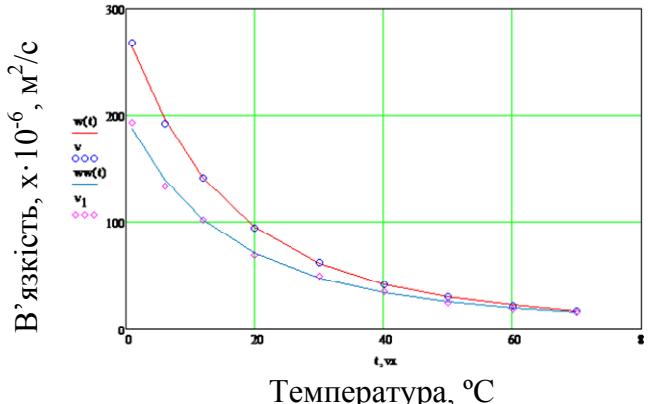


Рис. Графіки залежності розрахункових і експериментальних даних кінематичної в'язкості від температури, де \diamond – експериментальні дані для класичної олії; \circ – експериментальні дані для високоолеїнової олії; - – розрахункові дані

визначено кінематичну в'язкість високоолеїнової олії в інтервалі температур 0 ÷ +70 °C.

Використовуючи апроксимуючу функцію, розраховано значення кінематичної в'язкості цих олій в інтервалі температур 0 ÷ +70 °C через кожні 5 °C. Отримані розрахункові значення кінематичної в'язкості збігаються з експериментальними значеннями з відносною різницею, яка не перевищує 1,80 % для високоолеїнової соняшникової олій і 4,16 % для класичної соняшникової олій.

Список літератури: 1. Бравич Г. Б. Фазовая структура триглицеридов / Г. Б. Бравич – М, 1952.

2. Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. – Л., 1967. – Т.І. – 1053 с.

kinematic viscosity of sunflower oil temperature with aproksimatsionnyh dependencies was developed.
Im. 1. Bibliogr. 2.

Keywords: kinematic viscosity, sunflower oil, temperature.

Надійшла до редакції 14.09.2012

УДК 577.15

В. С. ОМЕЛЬЧЕНКО, викл.-стаж., НТУ «ХПІ», Харків;

Л. В. КРИЧКОВСЬКА, д-р техн. наук, проф., НТУ«ХПІ» , Харків;

С. В. ЖИРНОВА, стар.викл., НТУ «ХПІ» , Харків;

А. В. ЗІНЧЕНКО, студент, НТУ «ХПІ», Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІММОБІЛІЗАЦІЇ АМІЛОЛІТИЧНИХ ФЕРМЕНТІВ НА МАГНІТНИХ ЧАСТКАХ Fe_3O_4

Розглянуто ряд недоліків методів іммобілізації ферментів для харчової промисловості. Досліджено процес іммобілізації амілолітичних ферментів адсорбційним способом на магнітні частки без застосування додаткової функціональної оболонки. Іл.2.Бібліогр.:4.

Ключові слова: іммобілізація амілолітичних ферментів,магнітні частки, адсорбція, ацетатний буфер.

Вступ.

Враховуючи до уваги точкову дію каталітичної роботи ферментів та відсутність побічних продуктів реакції, ці білкові катализатори широко застосовуються у харчовій промисловості. Але неможливість відокремлювати такі з розчинів, а також дорогоvizна деяких з них змушують шукати способи їх іммобілізації (закріплення ферментів на поверхні носія). На сьогоднішній день у світі існує зацікавленість у створенні іммобілізованих ферментних каталітичних систем з властивостями керування ззовні. Такі властивості проявляють мікрочастинки окису заліза – представника неорганічних носіїв, вони мають більші переваги перед органічними синтетичними, так як мають більш високий ступінь міцності та температурної толерантності.

Як відомо, залізо є нетоксичним матеріалом у порівнянні із носіями синтетичної органічної природи, наприклад, пластмасами, що достатньо широко використовуються у виготовлені таких препаратів. Двовалентне залізо є біологічно активним катіоном і, у разі потрапляння такого до організму, метаболізується ним без негативних токсичних наслідків [1].

На сьогодні не існує реалізованого у кінцевому вигляді жодного технологічного процесу декрохмалізації сировини із застосуванням іммобілізованих ферментних препаратів. Робляться спроби провести такі процеси , але усі вони знаходяться на стадії пілотних реакторів. Були проведені спроби іммобілізації інших класів та типів ферментів (пектиназ, протеаз) на наночастки окису заліза [2]. У відношенні до іммобілізації амілолітичних ферментів були проведені досліди закріплення їх на наночастки з оболонкою із спеціальними функціональними групами або із застосуванням зшивного агенту, глутарового альдегіду [3]. Але результатом вищеозначеніх досліджень є присутність ряду недоліків, таких як – технологічна складність відтворення процесу іммобілізації у виробничих умовах, дорогоvizна отриманого препарату, потенційна токсичність реагентів, які застосовуються при виготовленні.

Мета досліджень, постанова проблеми.

Метою даної роботи є дослідження процесу іммобілізації амілолітичних ферментів адсорбційним способом на магнітні частки без застосування додаткової функціональної оболонки.

Магнітні частки є достатньо новим класом носіїв, який почали застосовувати для іммобілізації ферментів. На даний час немає дослідень, присвячених іммобілізації амілолітичних ферментів на магнітні частки без функціоналізації часток, що б значно здешевлювало та полегшувало технологію іммобілізації.

Матеріали та результати досліджень.

Системи магнітних носіїв приваблюють саме властивостями керування ззовні на відміну від інших. В даному дослідженні отримання носія для ферменту відбувається способом Массарта.

Іммобілізація комерційного ферментного препарату, що являє собою суміш амілолітичних ферментів – ендо- та екзоамілаз грибу *Aspergillus niger*, відбувалася стандартним методом фізичного нанесення шляхом адсорбції. Для цього використовувався рідкий ферментний препарат, стабілізований гліцерином. У середовище ацетатного буфера з pH = 3,8 (дорівнює середньому pH яблучного соку, де і має відбуватися ферментативна реакція декрохмалізації) об'ємом 150 мл додавали мікрочастки Fe₃O₄, та після урівноваження змішували із ферментним препаратом. Перемішування проводили за допомогою магнітного перемішувала протягом 3 годин за температури 20°C.

Експерименти з дослідження залежності ступені іммобілізації ферментного препарату на носій від співвідношення мікрочасток Fe₃O₄ та ферментного препарату проведено відповідно до плану експерименту [4].

Результати досліджень наведено на рис. 1.

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y(x_1, x_2) = -22,9799 + 15,5691 \cdot x + 16,7414 \cdot y - 1,1852 \cdot x^2 + 0,2266 \cdot x \cdot y - 1,2278 \cdot y^2$$

В результаті досліджень визначено діапазон співвідношень мікрочасток Fe₃O₄ та ферментного препарату, при якому її залишкова активність максимальна і складає 42 %, при цьому максимально знижується вміст мікрочасток Fe₃O₄ – 5 г на 100 мл ацетатного буфера. Таким чином, обґрунтовано співвідношення мікрочасток Fe₃O₄ та ферментного препарату для іммобілізації, який становить 5 г і 5 мл відповідно мікрочасток Fe₃O₄ та ферментного препарату в 100 мл ацетатного буфера. Експерименти з дослідження залежності ступені іммобілізації ферментного препарату на носій від часу перемішування та температури іммобілізації проведено відповідно до плану експерименту [4].

Результати досліджень наведено на рис. 2.

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y(x_1, x_2) = -79,0521 + 29,1292 \cdot x + 5,1625 \cdot y - 1,6875 \cdot x^2 - 0,1175 \cdot x \cdot y - 0,0837 \cdot y^2$$

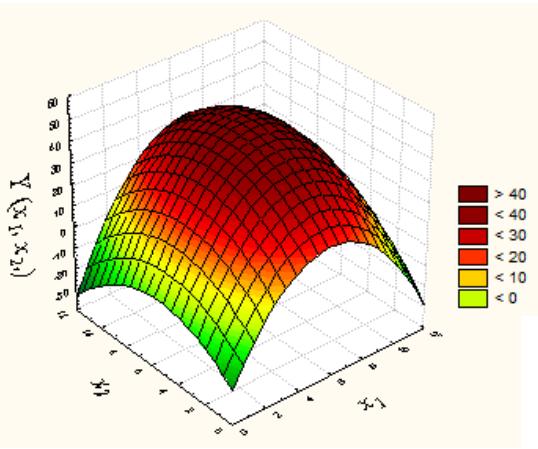


Рис. 1. Діаграма залежності ступені іммобілізації ферментного препарату на носій від співвідношення мікрочасток Fe_3O_4 та ферментного препарату: x_1 – мікрочастки Fe_3O_4 , г; x_2 – ферментний препарат, мл; $Y(x_1, x_2)$ – залишкова активність, %

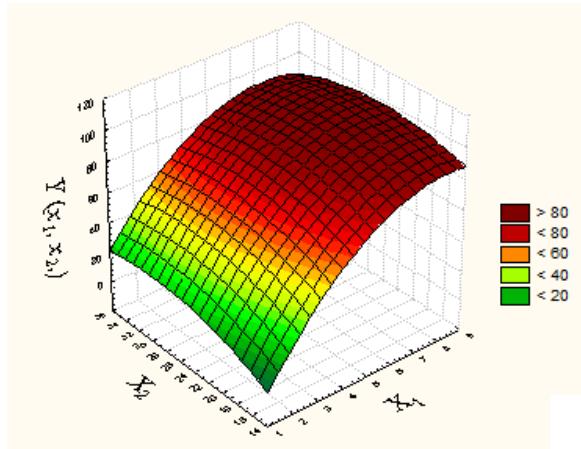


Рис. 2. Діаграма залежності ступені іммобілізації ферментного препарату на носій від часу перемішування та температури іммобілізації: x_1 – мікрочастки час перемішування, год.; x_2 – температура іммобілізації, $^{\circ}\text{C}$; $Y(x_1, x_2)$ – залишкова активність, %

В результаті досліджень визначено мінімальні величини часу перемішування та температури іммобілізації ферментного препарату, при яких її залишкова активність максимальна і складає 96 %. Таким чином, обґрунтовано величини часу перемішування та температури іммобілізації ферментного препарату, які становлять 6 годин і 25°C відповідно.

Висновки

В результаті досліджень визначено діапазон співвідношень мікрочасток Fe_3O_4 та ферментного препарату, а також мінімальні величини часу перемішування та температури іммобілізації ферментного препарату, при яких залишкова активність препарату максимальна.

Список літератури: 1. Володькин Д. В. Иммобилизация белков в микрочастицы, сформированные методом последовательной адсорбции противоположно заряженных полиэлектролитов. [Текст] : автореф. дисс. ... канд. хим. наук : 03.00.23/ Володькин Дмитрий Владимирович. – Краснодар, 2004. – 21 с. 2. Arshady R., Microspheres, microcapsules and liposomes. Vol. II: Medical and biotechnology applications. Chapter 14, Targeted delivery of microparticulate carriers. London: Citus books, 1999, 683 р.3. Кабанов В. А., Каргина О. В., Ульянова М. В., Литвинов И. А. Исследование надмолекулярной структуры иммобилизованных ферментных комплексов на основе изотактической полиакриловой кислоты. ВМС Б, 1982, т. 24, с. 17-19 .4. Обработка экспериментальных данных [Электронный ресурс] / Б. Д. Агапьев, В. Н. Белов, Ф. П. Кесаманлы и др. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТУ, 2001. – Режим доступа : <http://users.kpi.kharkov.ua/fmp/biblio/BOOK1/ref.html>. – Последний доступ : 2010.

УДК 577.15

Исследование процесса иммобилизации амилолитических ферментов на магнитные частицы FE_3O_4 //Омельченко В. С., Кричковская Л. В., Жирнова С. В., Зинченко А. В.///Вестник НТУ«ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.-Харьков НТУ «ХПИ».-№ 50(956). 2012. С. 99-102

Рассмотрен ряд недостатков методов иммобилизации ферментов для пищевой промышленности. Исследован процесс иммобилизации амилолитических ферментов

адсорбционным способом на магнитные частицы без применения дополнительной функциональной оболочки. Изд.:2. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: иммобилизация амилолитических ферментов, магнитные частицы, адсорбция, ацетатный буфер.

UDC577.15

Study of immobilization proces for amyloytic enzymes on the magnetic particles Fe_3O_4 //
Omelchenko V. S., Krichkovska L. V., Zhirnova S. V., Zinchenko A. B./Bulletin of NTU"KhPI". Subject issue: New decisions of modern technologies.-Kharkov NTU"KhPI".-2012.№ 50(956). P. 99-102

A number of shortcomings methods of immobilization of enzymes for the food industry. The process of immobilization of amylase enzyme adsorption method for magnetic particles without the use of additional functional shell. Im.: 2. Bibliogr. 4

Key words: Immobilization of amyloytic enzymes, magnetic, adsorption, acetate buffer.

Надійшла до редакції 28.09.2012

УДК 666.29.022:546.74

Г.О. ЮРЧЕНКО, аспірант, НТУ «ХПІ», Харків;

А.М. БУТЕНКО, д-р техн.наук, проф., «ХПІ», Харків

КІНЕТИКА СУЛЬФАТНОГО ВИЛУЧЕННЯ СПОЛУК НІКОЛУ (ІІ) ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНІ

В статті приведені перспективи гідрометалургійних методів переробки вторинної ніколвмісної сировини. За допомогою фізико-хімічних досліджень визначена кінетика вилучення сполук ніколу (ІІ) сульфатною кислотою із вторинної сировини. Розраховані основні кінетичні характеристики даного процесу. Зроблено висновок про те, що процес витягнення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ протикає у дифузійній області. Іл.: 4. Бібліогр.: 2 назв.

Ключові слова: вилучення, нікол (ІІ) гідроксид, кінетика

Вступ

За останнє десятиріччя у світі суттєво загострилася проблема ресурсозбереження кольорових металів. Обмеження обсягів приросту виробництва первинних кольорових металів змушує їх основних споживачів звертатися до альтернативних джерел сировини. Обсяг виробництва деяких вторинних кольорових металів у Західній Європі та США вже на початку перших років перевищив половину від їх загального споживання. Крім економічних, істотні і екологічні аспекти зазначеної проблеми. Досить зазначити, що тільки в Європі з відходів різноманітних галузей промисловості щорічно виводиться з обігу десятки тонн ніколу, міді, кадмію, тощо. Подібні відходи, навіть за умови відокремлення їх від інших побутових відходів, утворюють значні відвали, зберігання яких пов'язане з істотними витратами на охорону навколошнього середовища. Саме тому актуальність проблеми переробки вторинної сировини, що містить кольорові метали, в останні роки істотно зросла. Вищевказане повною мірою відноситься до промислового обороту нікелю і його сполук, останні, як відомо, мають широке використання в хімічній промисловості, металургії тощо

В даний час лужні ламельні акумулятори займають друге місце серед вторинних джерел струму за масштабами промислового виробництва, поступаючись лише свинцевим акумуляторам. За кордоном переважають нікель-кадмієві, в нашій країні – нікель-залізні (НЖ) акумулятори.

© Г.О. ЮРЧЕНКО, А.М. БУТЕНКО, 2012

Приблизний вміст ніколу у них становить 8-10% від маси акумулятора. Нікол у електродних масах присутній у вигляді гідроксидів Ni(OH)_2 , залізо - у вигляді Fe , Fe(OH)_2 , Fe(OH)_3 . На рис. 1 наведена діфрактограма порошку активної маси позитивного, тобто нікелевого, електроду відпрацьованого НЖ акумулятора.

Відпрацьовані акумулятори сортують за типорозмірами, потім механічно поділяють на складові частини.

Сталеві корпуси акумуляторів пакетують і відправляють на переплавку.

підприємствам чорної металургії, блоки позитивних і негативних електродів направляють на пакетування з кусковим ломом і відходами

Раніше, широко застосування мала практика пірометалургійних переділів такої сировини на підприємствах кольорової металургії, яка дозволяла обробляти його у великих обсягах спільно з іншими видами ніколвмістових відходів. Основними продуктами пірометалургійної переробки є феронікель і анодний нікель. На Режському нікелевому заводі технологічний цикл виробництва феронікелю з брухту анодних пластин НЖ акумуляторів був поступово переорієтований на залучення до процесу інших видів нікелевої сировини (лом і відходи легованих сталей, шлами, каталізатори, блоки акумуляторів і тощо). Мабуть, диференціація пірометалургійних схем переробки за окремими видами вторинної сировини виявляється економічно недоцільною.

З іншого боку, відпрацьовані електродні маси є сировиною з досить великим вмістом ніколу по відношенню до решти домішок. У цьому випадку виправдане застосування способів переробки, спрямованих на максимум селективності та ефективності вилучення нікелю та його сполук. Крім того, при виборі способу переробки необхідно враховувати і ступінь екологічної небезпеки сировини і самої технології її утилізації. З урахуванням зазначених факторів більш кращі гідрометалургійні способи переробки, засновані на поєднанні таких процедур, як вилуговування, осадження, іонообмінних реакцій, рідинна екстракція, дистиляція, електрохімічне розділення і тощо. У порівнянні з пірометалургійними, гідрометалургійні способи переробки ніколвмісної сировини перспективні в силу таких обставин:

- У деяких випадках можливе поєднання процесів розділення і вилучення металів в одній стадії, що помітно спрощує процес переробки і підвищує його ефективність;
- Досить розповсюдженні реагенти і простота використовуваного обладнання забезпечують екологічність самої методики і зниження техногенного впливу на навколошнє середовище, пов'язаного з накопиченням відходів кольорових металів;
- Відносно низькі питомі енерговитрати, висока селективність гідрометалургійних схем в поєднанні з їх вибірковістю стосовно до конкретних видів вторинної сировини дозволяють застосовувати такі схеми в невеликих масштабах.

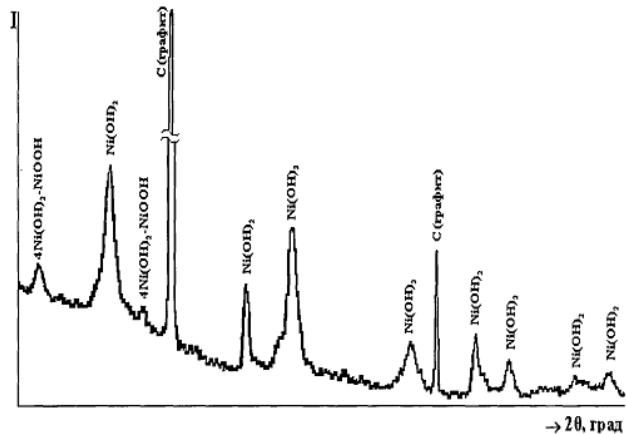


Рис.1. Діфрактограма порошку активної маси позитивного електроду відпрацьованого НЖ акумулятора

Необхідно відзначити, що подібні технології поки що знайшли застосування лише в лабораторних або в напівпромислових варіантах. Гідрометалургійних способів переробки позитивних пластин НЖ-акумуляторів в літературі не описано. У процесах переробки вторинної ніколовмісної сировини активно використовується кислотне або амоніачне вилуговування, які запропоновані в якості основи методів вилучення ніколу з деяких видів руд. Подібний підхід стосовно переробки позитивних електродів нікол-залізних акумуляторів має ряд переваг.

Експериментальна частина

З метою вивчення закономірностей кислотного вилуговування ніколу з відпрацьованої активної маси позитивного електрода була вивчена кінетика взаємодії порошку активної маси в сірчаній кислоті за температурах 298, 323 і 348 К.

Дослідження починали з того, що в кварцовий реактор, забезпечений повітродувкою і зворотним холодильником, заливали розчин сульфатної кислоти з масовою часткою 36 %, достатньої для повного вилучення $\text{Ni}(\text{OH})_2$, згідно з рівнянням реакції:



При включеній повітродувки, мішалці і працюючому водяному холодильнику за допомогою термостата доводили температуру розчину сульфатної кислоти до заданого значення. Після встановлення відповідної температури через спеціальну лійку завантажували зразки вихідної сировини масою 100 мг і проводили процес його обробки.

Через певні проміжки часу зразки витягували з реактора, ретельно промивали бідистилятом і висушували при 363 К, потім аналізували на вміст сполук ніколу за допомогою лазерного мас-спектрометра ЕМАЛ-2 і обчислювали ступінь вилучення $\text{Ni}(\text{OH})_2$.

На рис.2 представлений графік залежності ступеня вилучення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ від часу контактування активної маси з сульфатною кислотою.

Отримані результати, що стосуються ступеня вилучення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ з активної маси сірчаною кислотою, були оброблені за рівнянням, що описує процеси розчинення

твердих тіл, які протікають в кінетичної області:

$$1 - (1 - \varphi)^{1/3} = k \tau, \quad (2)$$

де φ - ступінь вилучення, %;

τ - час обробки маси сірчаною кислотою, хв;

і за рівнянням, що характеризує процеси розчинення твердих тіл, яке має місце в дифузійної області [1]:

$$1 - 2/3 \alpha - (1 - \varphi)^{2/3} = k \tau. \quad (3)$$

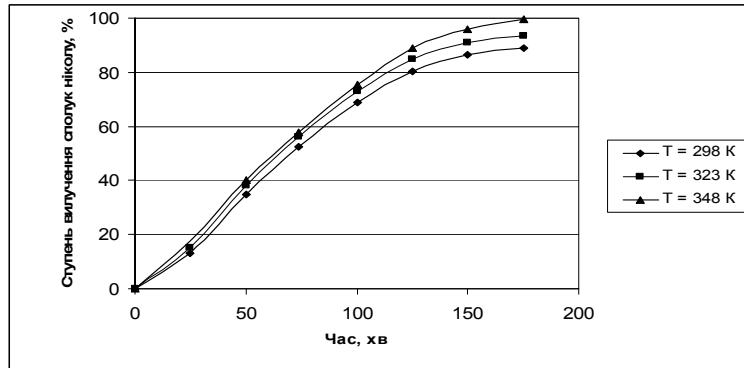


Рис. 2. Залежність ступеня вилучення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ від часу і температури обробки вихідної сировини сірчаною кислотою

де α - ступінь завершеності процесу, %.

На підставі наявних даних були розраховані кінетичні параметри процесу вилучення Ni(OH)_2 з активної маси сірчаною кислотою, які наведені в табл. 1.

Знайдене значення уявної енергії активації 18,7 кДж/моль також свідчить про протікання процесу вилучення в дифузійній області.

Таблиця 1- Кінетичні параметри процесу вилучення Ni(OH)_2 сірчаною кислотою з активної маси

Кінетичні параметри	Температура, К		
	298	323	348
Константа швидкості K , с^{-1}	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
Уявна енергія активації E_a , кДж/моль			18,7

З метою отримання більш переконливих доказів висловлених вище висновків поряд з рівняннями (1, 2) використовували і рівняння, одне з яких описує перебіг процесу вилучення твердих тіл у кінетичному режимі:

$$1 - \varphi = \frac{\tau}{T_s}, \quad (4)$$

друге - в дифузійному [2]:

$$1 - \varphi^{2/3} = \frac{\tau}{T_s}, \quad (5)$$

де φ - ступінь вилучення Ni(OH)_2 з активної маси, %;

τ - поточний момент часу, хв;

T_s - час повного вилучення, хв.

Область протікання процесу вилучення Ni(OH)_2 сірчаною кислотою можна визначити і шляхом зіставлення експериментальних даних (рис. 3) з двома різномірдними по конфігурації кривими. Процес, який характеризується кривою, над апроксимується прямою, протікає в дифузійній області. Рис. 4 також свідчить про те, що процес вилучення Ni(OH)_2 протікає в дифузійній області.

На підставі проведених досліджень встановлено, що оптимальними умовами для вилучення Ni(OH)_2 з активної маси сірчаною кислотою з є температура 348 К при тривалості процесу вилучення 175 хвилин. Основною домішкою в розчині

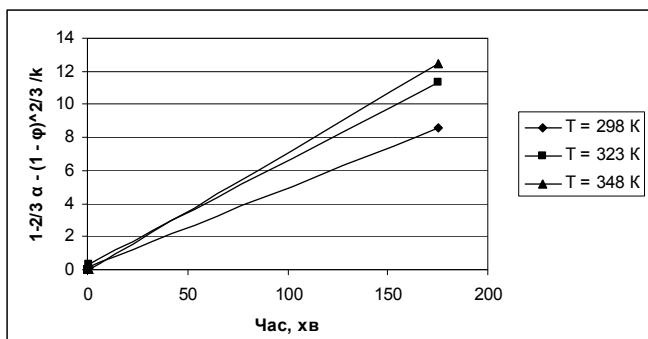


Рис. 3. Кінетика вилучення Ni(OH)_2 сульфатною кислотою відповідно до рівняння (3)

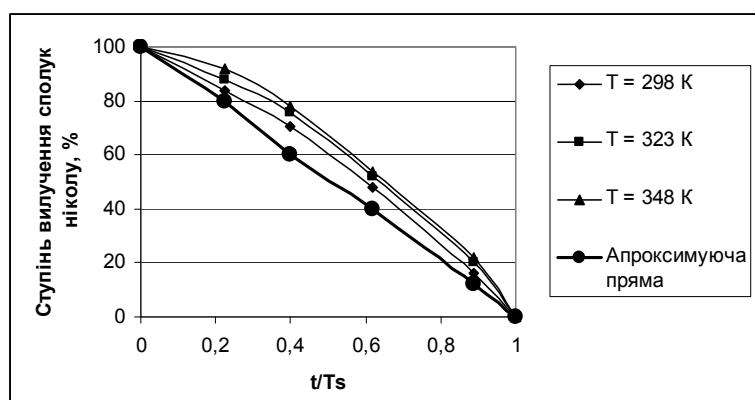


Рис.4 Криві кінетики вилучення Ni(OH)_2 сірчаною кислотою

сульфату ніколу, що утворюється при розчиненні активної маси відпрацьованого позитивного електрода в сірчаної кислоті, є сульфат заліза (ІІ), що вимагає проведення очищення отриманого в ході вилуговування розчину від домішок заліза. Видалення заліза (ІІ) проводили окислюванням його до заліза (ІІІ), шляхом продувки киснем повітря і осадженням у вигляді гідроксиду при підлуженні розчину.

Отриманий розчин сульфата ніколу (ІІ) разом з нерозчинною частиною активної маси витягували з реактора і відокремлювали на нутч-фільтрі. Твердий залишок відмивали від надмірної кількості сульфатної кислоти бідистилятом до негативної проби на іони SO_4^{2-} . Висушували при 363 К і аналізували на присутність йонів ніколу (ІІ).

Висновки

Таким чином, на підставі виконаних кінетичних досліджень встановлено, що реакція вилучення сполук ніколу (ІІ) сульфатною кислотою з активної маси електродів відпрацьованих залізо-нікелевих акумуляторів протікає в зовнішньодифузійній області, що підтверджують значення її уявної енергії активації E_a , яка дорівнює 18,7 кДж / моль.

Список літератури: 1. Аксельруд Г. А. Растворение твердых веществ. / Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. – М.: Химия. – 1979. – 272 с. 2. Рябец В. А. Термодинамический свойства веществ / В. А. Рябец, М. А. Остроумов, Т. В. Свен– Л.:Химия, 1977. – 268с.

УДК 666.29.022:546.74

Кинетика сульфатно изъятия соединений никеля (ii) с вторичного сырья/ Г. А. Юрченко, А. М. Бутенко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - № 50(956). С. 102-106

В статье приведены перспективы гидрометаллургических методов переработки вторичного никельсодержащего сырья. С помощью физико-химических исследований определена кинетика извлечения соединений никеля (ІІ) сульфатной кислотой из отходов. Рассчитаны основные кинетические характеристики данного процесса. Сделан вывод о том, что процесс извлечения Ni(OH)_2 протекает в диффузационной области. Из.: 4. Библиогр.: 2 назв

Ключевые слова: извлечение, никель (ІІ) гідроксид, кинетика.

UDK 666.29.022:546.74

Kinetics sulfate compounds removal nicole (ii) from secondary raw materials/ G. Yurchenko, A. Butenko // Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956).. P. 102-106

The article describes prospects of hydrometallurgical processing methods of secondary raw material that contains nickel. The kinetics of nickel compounds extraction from raw material by sulfuric acid was defined due to physicochemical research. Main kinetic factors of this process were estimated. A conclusion was made about proceeding of Ni(OH)_2 extraction in diffusion area. Im.: 4: Bibliogr.: 2

Keywords: nickel (ІІ) hydroxide, the extraction, kineticks

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 62.83.52

А. В. ЧЕРМАЛЫХ, канд. техн. наук, НТУУ «КПИ», Киев;
В. М. ЧЕРМАЛЫХ, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПИ», Киев;
И. Я. МАЙДАНСКИЙ, инж., НТУУ «КПИ», Киев

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИЕЙ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

На основе анализа режимов работы теплового насоса рассмотрены возможные структуры систем управления электроприводом компрессоров теплонасосной установки. С помощью структурных моделей получены графики изменения контролируемых переменных. По результатам моделирования даны рекомендации относительно рациональности применения систем управления компрессорной станцией в зависимости от оценочных критериев и технологического режима работы теплового насоса. Из.: 3. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: насос, электропривод, компрессор, моделирование.

Введение

В настоящее время наиболее актуальной проблемой в теплоснабжении объектов жилищно-коммунального хозяйства является поиск и внедрение новых эффективных энергосберегающих технологий для получения тепла и использования нетрадиционных источников энергии.

В этой связи, одним из эффективных энергосберегающих способов экономии привычного органического топлива (газа, угля), снижения загрязнения окружающей среды и удовлетворения потребностей потребителей в технологическом тепле можно считать применение теплонасосных технологий производства теплоты.

Тепловой насос представляет собой специализированную установку, которая преобразует низкопотенциальную энергию природных источников теплоты и низкотемпературных энергетических ресурсов (грунт, вода, воздух) в энергию более высокого потенциала, которая пригодна для практического использования [1].

Цель работы

Исследования различных систем автоматизированного управления компрессорными установками теплового насоса с помощью структурных моделей, обоснование и выдача рекомендаций о рациональности их применения относительно основных оценочных критериев функционирования теплонасосной станции.

Актуальность темы исследований

На сегодняшний день, с возрастанием спроса на использование альтернативных источников энергии происходит активное внедрение тепловых насосов. Мировые производители стремительно разрабатывают новые схемы практического применения теплонасосного оборудования. При этом пути совершенствования тепловых насосов в большинстве случаев ограничиваются применением новых типов хладагента, методов отбора тепла низкого потенциала, температурных режимов работы и т.п. [2].

В литературных источниках, которые касаются вопросов использования теплонасосных технологий, практически полностью отсутствуют сведения о методах

© А. В. ЧЕРМАЛЫХ, В. М. ЧЕРМАЛЫХ, И. Я. МАЙДАНСКИЙ, 2012

решения проблемы управления режимом работы теплового насоса со стороны электропривода. При этом, компрессорная станция является одной из основных составных частей теплового насоса, оптимальная работа которой напрямую зависит от системы управления электроприводом компрессора. В свою очередь экономические показатели теплонасосной установки в целом, в значительной степени зависят именно от режима функционирования компрессорной станции.

В этой связи тему работы, связанную с анализом и выбором рациональных систем управления электроприводом компрессорной станцией теплового насоса следует считать актуальной.

Материалы исследований

Тенденцией последнего времени при эксплуатации тепловых насосов является использование одного из двух режимов: регулирование температуры на выходе установки в заданных пределах или поддержание температуры на требуемом уровне. Кроме того, для тепловых насосов характерным является применение многокомпрессорных станций с индивидуальным электроприводом для каждого компрессора. Рассмотрим наиболее распространенный вариант двухкомпрессорной станции с двумя приводными электродвигателями. Такое решение связано с тем, что даже в случае выхода из строя одной компрессорной установки, вторая продолжает работать, обеспечивая половинную мощность теплового насоса относительно расчетной.

Для решения задачи контроля температуры в необходимом диапазоне ($55\dots65^{\circ}\text{C}$) многие фирмы-производители тепловых насосов предлагают вариант компрессорной станции с двумя нерегулируемыми асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями (обозначим их соответственно $M1$ и $M2$). Алгоритм работы такого привода следующий.

Вкл. $M1 \rightarrow t^{\circ} \approx 35^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Вкл. $M2 \rightarrow t^{\circ} \approx 65^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Откл. $M1 \rightarrow t^{\circ} \approx 55^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Вкл. $M1 \rightarrow t^{\circ} \approx 65^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Откл. $M2 \rightarrow t^{\circ} \approx 55^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Вкл. $M2 \rightarrow t^{\circ} \approx 65^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Откл. $M1 \rightarrow t^{\circ} \approx 55^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Вкл. $M1 \rightarrow$ и т.д.

Таким образом, имеет место регулирование температуры в заданных границах за счет отключения/включения одного из двигателей. Команда на отключение двигателя подается при возрастании температуры до верхней границы, а команда на его включение поступает после снижения температуры до нижней границы. В этом случае реализуется релейный закон регулирования. Выравнивание теплового режима в двигателях обеспечивается поочередной их работой, а значительная инерционность теплового насоса по каналу изменения температуры относительно кривой охлаждения двигателей обеспечивает их естественное охлаждение за время, когда один из двигателей отключен от сети.

Рассматриваемый способ автоматизированного управления компрессорной станции обладает как рядом очевидных преимуществ, так и существенных недостатков.

Основными достоинствами являются простота технической реализации, низкие массогабаритные и стоимостные показатели, поскольку необходимый алгоритм работы обеспечивается за счет применения достаточно простых устройств автоматики при полном отсутствии силовых полупроводниковых преобразователей.

Главный недостаток связан с постоянным протеканием в системе электропривода переходных процессов запуска и отключения двигателей.

Возникающие при этом проблемы рассмотрим с помощью структуры

двуходвигательной компрессорной станции теплового насоса с нерегулируемым электроприводом на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типа 4АМУ280S2 со следующими паспортными данными: номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 110$ кВт; номинальное линейное напряжение $U_{\text{ном}} = 380$ В; номинальная скорость $n_{\text{ном}} = 2952$ об/мин; синхронная скорость $n_0 = 3000$ об/мин; число пар полюсов $p = 1$; номинальная частота питающей сети $f_{\text{ном}} = 50$ Гц; номинальный фазный ток статора $I_{\text{ном}} = 192$ А; номинальный коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ном}} = 0,935$; номинальный коэффициент мощности $\cos\phi_{\text{ном}} = 0,93$; кратность максимального момента $M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}} = 3,0$; кратность пускового момента $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,9$; кратность пускового тока $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 8,0$; активное $R1 = 0,049$ Ом и индуктивное $X1 = 0,186$ Ом сопротивления статора; активное $R2' = 0,036$ Ом и индуктивное $X2' = 0,277$ Ом приведенные сопротивления ротора; момент инерции двигателя $J_{\text{дв}} = 1,412$ кгм².

Электродвигатель такого типа по своим техническим параметрам соответствует приводным двигателям компрессорной станции теплового насоса *HYDROCIAT 2500B X*, который принят за базовую установку.

На рис. 1,а представлена структурная модель силового канала двухдвигательной линеаризованной электромеханической системы на базе асинхронного двигателя [3].

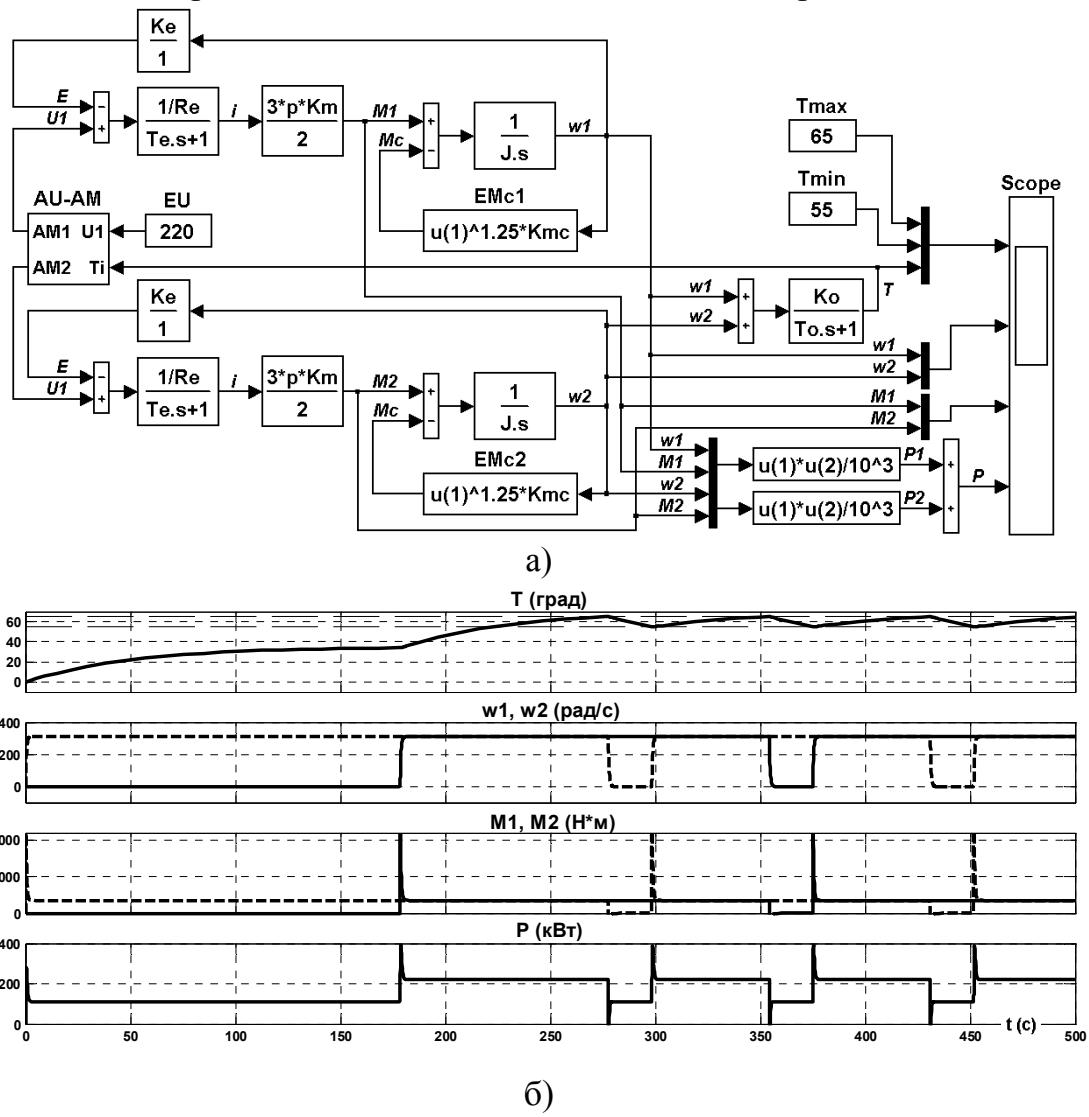


Рис.1. Структурная модель и диаграммы переменных силового канала электропривода компрессорной станции с двумя нерегулируемыми асинхронными электродвигателями
а) структурная модель, б) диаграммы переменных

Блок EU задает номинальное действующее значение фазного напряжения сети, а блоки EM_c1 и EM_c2 формируют характерную для компрессоров зависимость момента сопротивления от угловой скорости для каждого из двигателей ($M_c \sim \omega^{1,25}$).

Объект исследования в виде компрессорной станции представлен апериодическим звеном первого порядка с коэффициентом передачи K_o и весьма значительной постоянной времени T_o (в реальных станциях ее величина может составлять десятки минут и более). Подсистема $AU-AM$ обеспечивает реализацию требуемого алгоритма работы. По входным сигналам $U1$ и T_i логическая схема на начальном этапе обеспечивает последовательный запуск двигателей, а затем, при достижении граничных значений температуры T_{max} или T_{min} , на выходах $AM1$ и $AM2$ формируются сигналы соответственно на поочередное отключение или включение электродвигателей. Тем самым, моделируется прямой пуск и останов приводов компрессоров станции.

С помощью осциллографа *Scope* фиксируются графики изменения мгновенных значений: температуры T на выходе компрессорной станции в коридоре $T_{min} \dots T_{max}$; скоростей каждого из двигателей ω_1, ω_2 ; развиваемых полных моментов двигателей M_1, M_2 ; потребляемой из сети общей полезной мощности $P = P_1 + P_2$, где $P_1 = M_1 \times \omega_1, P_2 = M_2 \times \omega_2$.

Параметры элементов силового канала рассчитываются в соответствии со следующими выражениями:

- эквивалентное активное сопротивление двигателя: $R_e = R1 + R2'$;
 - эквивалентная постоянная времени: $T_e = (X1 + X2') / (2 \times \pi \times f_{nom} \times R_e)$;
 - коэффициент связи по моменту: $K_m = M_{nom} / (1,5 \times p \times I_{nom})$;
 - полный момент инерции системы: $J = J_{dv} + J_{meh}'$, где $J_{meh}' = 2 \times J_{dv}$;
 - коэффициент передачи по ЭДС двигателя: $K_e = E_{max} / \omega_{nom}$,
- где $E_{max} = E_{nom} = U_{nom} / 1,73 - I_{nom} \times R_e$;
- коэффициент связи по нагрузке: $K_{mc} = M_{nom} / \omega_{nom}^{1,25}$;
 - коэффициент передачи станции: $K_o = T_{nom}^{\circ} / \omega_{nom}$, где $\omega_{nom} = \omega_{1,nom} + \omega_{2,nom}$;
 - постоянная времени объекта: $T_o = 50$ с.

Для наглядности и возможности визуального анализа результатов постоянная времени компрессорной станции принята равной 50с, что более чем на порядок меньше реальной инерционности, однако при этом имеется возможность исследования поведения в переходных режимах системы электропривода, быстродействие которого достаточно высокое.

Анализируя полученные результаты (рис. 1,б), можно отметить следующие основные моменты. Система фактически выполняет основную задачу – поддержание температуры в требуемом диапазоне 55 ... 65°C. Диаграммы изменения температуры и скорости наглядно показывают выполнение алгоритма работы. Вначале запускается второй двигатель (пунктирная линия). В середине диапазона при температуре 35°C включается первый двигатель (сплошная линия). Затем, при достижении температуры 65°C второй двигатель отключается, а первый остается в работе. Температура начинает снижаться и по достижении нижней границы 55°C вновь включается второй двигатель, что вызывает рост температуры до верхней границы. После этого последовательность отключения/включения двигателей следующая: первый, второй, первый, второй и т.д.

График изменения момента подтверждает тот факт, что переходные процессы при прямом пуске асинхронного электродвигателя сопровождаются значительными

бросками момента и, следовательно, тока, что приводит к превышению в 5 – 6 раз его номинального значения [4]. Это вызывает возрастание потерь энергии в переходных режимах и существенное увеличение потребляемой мощности, что иллюстрирует полученная диаграмма активной мощности. Кроме этого, наличие больших частых пусковых токов приводит к перегрузке сети и ограничению допустимых включений компрессора в течение часа. Необходимо отметить также, что выделяющиеся в двигателе повышенные потери вызывают его дополнительный нагрев, что уменьшает ресурс работы всех его узлов и элементов [5].

Все отмеченные энергетические факторы следует отнести к недостаткам, однако инерционность по каналу температуры в реальной компрессорной станции существенно больше, чем принятое значение при моделировании, поэтому негативное влияние указанных проблем на практике будет меньше. Кроме этого, рассмотренный способ управления имеет и значительный положительный энергетический показатель, который связан с тем, что достаточно длительные отрезки времени в работе находится только один двигатель, а другой отключен от сети и потребляемая мощность всей установкой в эти периоды снижается вдвое. Это наглядно иллюстрирует график изменения активной мощности (с 220 кВт при работе двух двигателей до 110 кВт, когда в работе остается только один).

Фактически основной недостаток рассмотренной системы, связанный с прямыми пусками двигателей, может быть устранен с помощью, так называемых, устройств плавного пуска, которые в последнее время получили массовое применение и специально разработаны для решения проблемы ограничения пусковых токов асинхронных короткозамкнутых двигателей [6].

Для варианта двухдвигательной компрессорной станции достаточно использовать одно устройство. В этом случае алгоритм функционирования системы заключается в том, что вначале плавно разгоняется один двигатель до номинальной скорости и переключается на работу от сети, а затем обеспечивается плавный запуск второго двигателя. После этого устройство плавного пуска автоматически реализует рассмотренный ранее алгоритм поддержания температуры в необходимых пределах за счет поочередного ввода и вывода из работы электродвигателей компрессоров с плавным изменением напряжения, подводимого к статорным обмоткам двигателей. Отметим, что чаще всего устройство плавного пуска выполняются на базе схемы известных тиристорных регуляторов напряжения.

На рис. 2,а представлена структурная модель двухдвигательной электромеханической системы компрессорной станции с использованием устройства плавного пуска.

Фактически, предыдущая модель дополнена двумя дополнительными элементами. Устройством плавного пуска *UZ* в виде апериодического звена первого порядка с коэффициентом передачи K_{uz} и постоянной времени T_{uz} , а также, типовым задатчиком интенсивности первого порядка (содержит охваченные единичной отрицательной обратной связью последовательно соединенные нелинейный элемент *AH* с релейной характеристикой и интегратор *INT* с коэффициентом $K1$).

Расчетные формулы следующие:

- коэффициент передачи устройства плавного пуска: $K_{uz} = U_{\text{ном}} / (1,73 \times 10)$;
- постоянная времени: $T_{uz} = 0,001$ с;
- коэффициент интегратора для случая одинаковой величины ограничений сигналов в канале управления: $K1 = \varepsilon_{\text{макс}} / \omega_{\text{макс}}$.

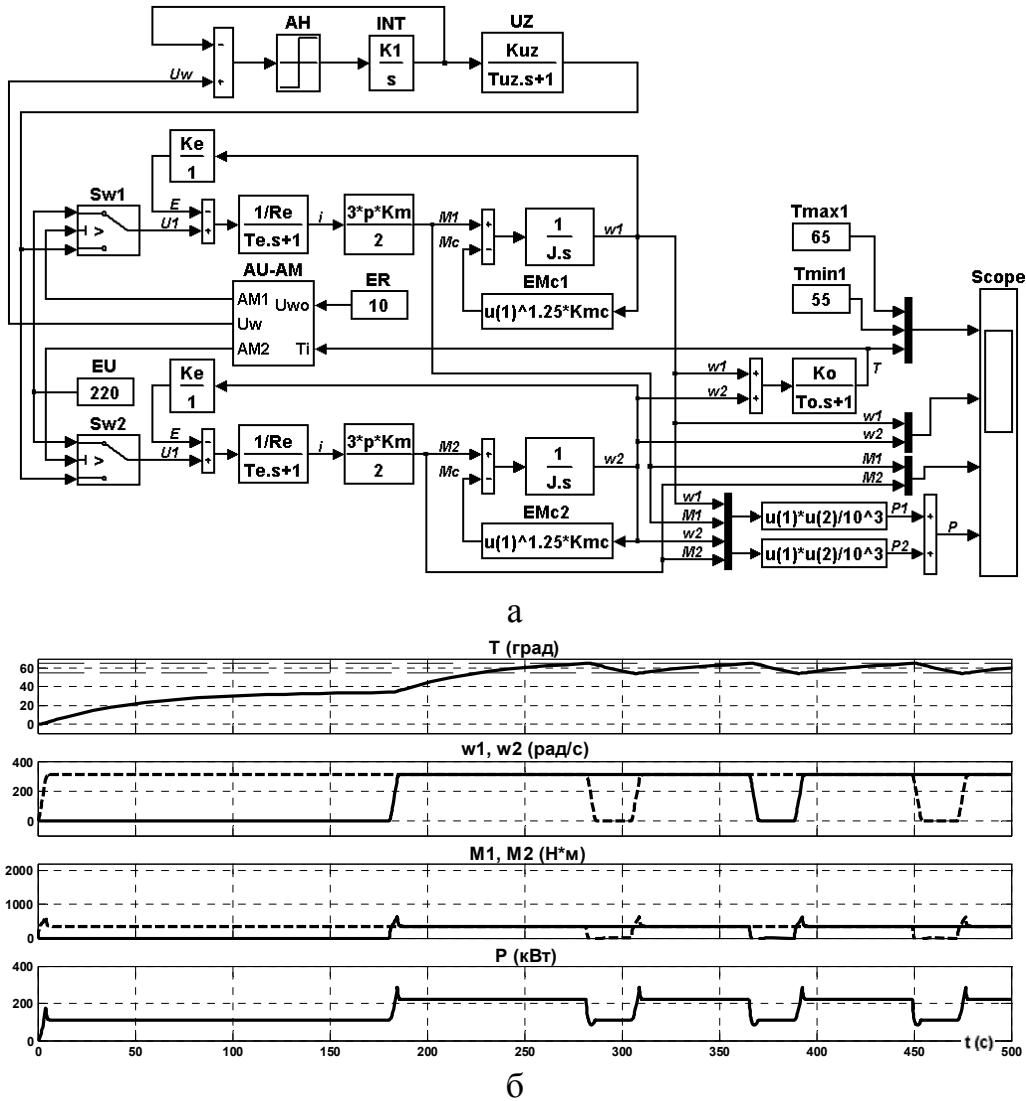


Рис. 2. Структурная модель и диаграммы переменных электропривода компрессорной станции с использованием устройства плавного пуска
 а) структурная модель, б) диаграммы переменных

Подсистема *AU-AM* в целом построена аналогично предыдущей системы, но алгоритм ее работы имеет свои отличия. На один из входов подается сигнал заданной скорости U_{wo} , величину которого определяет блок *ER*. На выходе подсистемы имеет место сигнал заданной скорости U_w , который подается или снимается со входа задатчика интенсивности при определенных значениях температуры (35°C , 55°C и 65°C). Сигналы с выходов *AM1*, *AM2* управляют соответствующими ключами *Sw1*, *Sw2*. При замкнутом нижнем контакте ключей к одному из двигателей подключается устройство плавного пуска, в случае, когда замкнут верхний контакт ключей на статорную обмотку двигателя поступает номинальное значение фазного напряжения сети, задаваемое блоком *EU*.

Результаты моделирования (рис. 2,б) показывают отсутствие значительных бросков в кривых момента и мощности в периоды запуска двигателей, а скорость при этом изменяется линейно плавно, что обеспечивается задатчиком интенсивности за счет ограничения ускорения на допустимом уровне. Все остальные процессы протекают аналогично структуре с нерегулируемым электроприводом. Следует отметить, что за счет применения устройства плавного пуска система становится несколько дороже и сложнее.

Общим недостатком рассмотренных систем является невозможность реализовать алгоритм поддержания требуемого значения температуры. Для решения этой задачи целесообразно использовать частотно-регулируемый электропривод компрессоров на базе системы ПЧ-АД со звеном постоянного тока, который в большинстве случаев рекомендуется сегодня для тепловых насосов.

Универсальность предлагаемой системы для компрессорной станции заключается в возможности реализации обоих способов управления.

Если устройство плавного пуска заменить преобразователем частоты, то абсолютно аналогично предыдущей системе решается задача регулирования температуры в необходимом диапазоне.

Для обеспечения поддержания заданного значения температуры система должна быть замкнутой и содержать регулятор одного из технологических параметров (для теплового насоса это температура).

В этом случае для двухдвигательного варианта применяется один преобразователь частоты, который сначала плавно запускает один двигатель до рабочей скорости и переводит его на работу от сети. Затем плавно разгоняется другой двигатель до скорости, при которой устанавливается требуемая температура и остается работать от преобразователя частоты. При отклонении температуры в результате внешних воздействий от заданного значения преобразователь частоты регулирует скорость двигателя в нужном направлении для быстрого восстановления необходимой температуры. Таким образом, в работе всегда находятся оба двигателя. Один функционирует в номинальном режиме, получая питание напрямую от сети, а другой работает в типовой схеме ПЧ-АД с регулированием скорости.

Структурная модель двухдвигательной компрессорной станции с частотно-регулируемым электроприводом изображена на рис. 3,а.

Кроме преобразователя частоты UZ и задатчика интенсивности система содержит цифровой ПИД-регулятор, который имеется практически во всех современных преобразователях частоты.

Контролируемым технологическим параметром является температура, сигнал о фактическом значении которой через датчик температуры UT подается на вход регулятора температуры AT в виде отрицательной обратной связи. Выходной сигнал регулятора температуры является входным сигналом управления преобразователем частоты, поэтому температура на выходе теплового насоса изменяется фактически за счет изменения скорости двигателей.

Требуемые расчетные соотношения.

Регулятор температуры AT :

- пропорциональная часть: $K_p = (J \times R_e) / (a_t \times T_{uz} \times K_{uz} \times 1,5 \times p \times K_m \times K_t \times K_o)$;

- интегрирующая составляющая: $K_i = K_e / (a_t \times T_{uz} \times K_{uz} \times K_t \times K_o)$;

- дифференцирующая: $K_d = (T_e \times J \times R_e) / (a_t \times T_{uz} \times K_{uz} \times 1,5 \times p \times K_m \times K_t \times K_o)$,

где a_t – настроенный параметр контура регулирования температуры (стандартное значение $a_t = 2$).

Коэффициент передачи обратной связи по температуре: $K_t = 10 / T_{nom}$.

Подсистема $AU-AM$ по структуре полностью аналогична системе с устройством плавного пуска, только на вход от блока ET подается сигнал требуемой температуры U_{to} , а с выхода снимается сигнал заданного значения температуры U_t , который поступает на вход задатчика интенсивности. Ключ $Sw2$ обеспечивает первоначальный плавный запуск второго двигателя от преобразователя частоты (замкнут нижний

контакт) с последующим переключением его на работу от сети (замкнут верхний контакт). Ключ $Sw1$ замыкает свой нижний контакт при температуре 35°C , тем самым плавно разгоняет второй двигатель до скорости, когда температура достигает заданного значения, после чего он остается работать от преобразователя частоты.

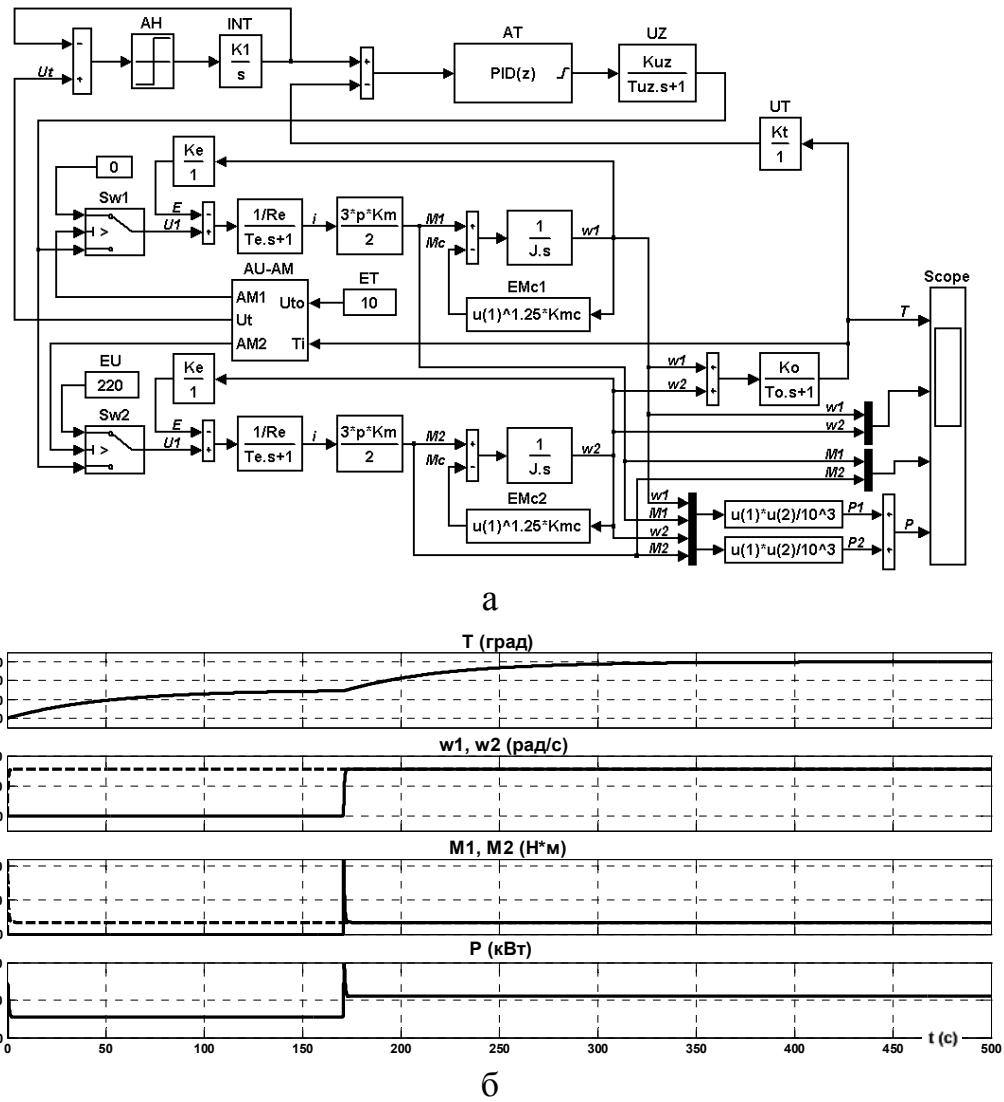


Рис. 3. Структурная модель и диаграммы переменных компрессорной станции с частотно-регулируемым электроприводом
а) структурная модель, б) диаграммы переменных

Результаты моделирования представлены на рис. 3.б. После плавного запуска системы устанавливается требуемое значение температуры 60°C , которое поддерживается на этом уровне при изменении температуры в случае воздействия внешних возмущающих факторов. В эти моменты имеют место кратковременные переходные процессы, связанные с изменением скорости двигателя для быстрого восстановления заданного значения температуры.

Отметим и некоторые другие преимущества применения частотно-регулируемого электропривода для компрессорных станций [7]. Электропривод компрессора с частотным управлением обеспечивает поддержание рабочего давления в системе с точностью до 0,1 бар и мгновенно реагирует на изменение давления в сети. А каждый лишний бар давления нагнетания увеличивает электропотребление компрессора на 6-8%. Наиболее весомый вклад в экономию электроэнергии дает

точное соответствие производительности компрессора с частотным приводом реальной потребности в сжатом хладагенте в данный момент времени.

В качестве относительных недостатков следует считать повышенные стоимостные показатели и сложность настройки системы, необходимость в проработке вопросов обеспечения электромагнитной совместимости преобразователя частоты с сетью и двигателем. Кроме того нет возможности снизить потребление из сети активной мощности для варианта реализации алгоритма поддержания температуры на заданном уровне, поскольку в этом случае одновременно в работе находятся оба двигателя. Однако за счет других факторов, характерных для частотно-регулируемого электропривода (например, ресурсосбережение), в целом энергосберегающие аспекты имеют место.

Полученные результаты исследований показывают, что все три рассмотренных способа управления режимом работы компрессорной станцией теплового насоса позволяют решить каждый свою конкретную задачу. Поэтому при выборе структуры электромеханической системы желательно провести многокритериальный анализ по некоторым оценкам: динамические и энергетические характеристики, стоимостные и массогабаритные показатели, ресурсосбережение, надежность, экономичность и др.

Выводы

Если компрессорная станция теплового насоса должна обеспечивать только изменение температуры в требуемом диапазоне, то целесообразно использование электромеханической системы с устройством плавного пуска. Для случая, когда технологическим требованием является поддержание заданного значения температуры, что является обязательным условием, например, для объектов жилищно-коммунального хозяйства, однозначно применение частотно-регулируемого электропривода, который в силу своей универсальности, при необходимости, позволяет решить и задачу регулирования температуры в необходимых границах.

Список литературы: 1. Рей Д., Макмайл Д. Термові насоси: Пер. с англ. – М.:Энергоиздат, 1982. – 224 с. 2. Морозюк, Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса, 2006. – 412 с. 3. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с. 4. Онищенко, Г. Б. Электрический привод : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Б. Онищенко. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с. 5. Москаленко, В. В. Электрический привод : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Москаленко. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с. 6. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепіков та ін.. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. 7. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков; Под ред. И. Я. Браславского. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

УДК 62.83.52

Вибір раціональних систем автоматизованого управління компресорних станцій теплового насосу/ Чермалих А. В., Чермалих В. М., Майданський І. Я. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С. 107-116

На основі аналізу режимів роботи теплового насоса розглянуті можливі структури систем управління електроприводом компресорів теплонасосної установки. За допомогою структурних моделей отримані графіки зміни контролюваних перемінних. За результатами моделювання надані рекомендації щодо раціональності застосування систем управління компресорною

станцією в залежності від оціночних критеріїв та технологічного режиму роботи теплового насоса. Іл.: 3. Бібліогр.:7. назв.

Ключові слова: насос, електропривод, компресор, моделювання.

UDK 62.83.52

Rational choice systems control compressor station heat pump/ Chermalykh A., Chermalykh V., Maidanskyi I. //Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - №50(956). P. 107-116

Based on the analysis of the heat pump mode, the possible structures of the control electric compressor heat pump installation. Using structural models obtained graphs of the controlled variables. Simulation results are given guidance on the application of rational management systems compressor station, depending on the evaluation criteria and the technological regime of the heat pump. Im.:3 : Bibliogr.: 7.

Keywords: pump, electric, compressor, modeling.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 621.311

A. A. ЖИЛЕНКОВ, ст. преп., КГМТУ, Керчь;

И. А. СЕДАКОВ, студент, КГМТУ, Керчь

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТИРИСТОРНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СУДНА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

Представлены выводы по результатам экспериментальных исследований влияния мощных тиристорных выпрямителей электродвигательного комплекса судна на судовую электроэнергетическую систему. Ил.: 2. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: автономная электростанция, мощные тиристорные выпрямители

Введение

Обеспечение электромагнитной совместимости мощных полупроводниковых преобразователей с питающими их сетями и другими потребителями, работающими от этих сетей, – актуальная проблема, важность которой, как показывает практика, со временем только растет, что связано с постоянным ростом общей мощности преобразовательной нагрузки действующей на предприятиях. Особенно остро стоит эта проблема в автономных электроэнергетических системах, электростанция которых характеризуется ограниченной мощностью и возможностью существенной нестабильности параметров электроэнергии. Морское судно с электродвижением – один из подобных объектов.

Экспериментальные исследования проводились на судне, пропульсивный комплекс которого – гребная электрическая установка, состоящая из двух гребных электродвигателей (ГЭД) постоянного тока (работающих на винт фиксированного шага) номинальной мощностью 710кВт - каждый. Питание и регулирование частоты ГЭД осуществлялось тиристорными преобразователями (ТП).

Источниками электроэнергии на судне являлись три главных дизель-генератора (ДГ) мощностью по 750кВт (800кВА).

Схема главной энергетической установки (ГЭУ) предусматривала следующие режимы работы:

3 главных генератора → 2ГЭД — ледовый режим полной мощности;

2 главных генератора → 2ГЭД — режим работы в чистой воде;

1 главный генератор → 2ГЭД — аварийный режим.

© А. А. ЖИЛЕНКОВ, И. А. СЕДАКОВ, , 2012

Изменение частоты вращения ГЭД производилось изменением величины подводимого к ГЭД напряжения; реверс — изменением полярности напряжения на выходе тиристорного преобразователя при постоянном токе возбуждения ГЭД.

Причиной экспериментальных исследований системы электроснабжения судна стали жалобы членов элекромеханической службы на следующие проблемы:

- низкое значение коэффициента мощности;
- срабатывание устройств защиты генераторов электростанции по перегрузке;
- загрузка генераторов по активной мощности составляет всего 50%, что в случае дизель-генераторов приводит к росту расхода топлива и появлению нагара;
- повышенные акустические шумы частей ТП ГЭД при определенных нагрузках.

Анализ работы системы электроснабжения проводился с помощью специального анализатора качества электроэнергии Fluke 434 и цифрового мультиметра DMK32-40-62, совместно с ноутбуком Dell Latitude E5420. Данный комплекс позволил произвести замеры среднеквадратичных и пиковых значений линейных и фазных токов и напряжений, потребляемой активной и реактивной мощности, коэффициента мощности, с определением коэффициентов искажений форм тока и напряжения, значения гармоник тока и напряжения, суммарного коэффициента гармонических искажений, параметров дисбаланса системы. Измерения проводились в ходе судна при различных режимах его работы.

Результаты исследования

В ходе исследований проводились замеры на различных скоростях вращения ГЭД. Гармонический состав по току и напряжению регистрировался в процентном отношении к основной гармонике. При анализе таких данных можно реально оценить вклад каждой из гармоник в суммарное гармоническое искажение формы тока и напряжения.

На рис.1 показана диаграмма, отражающая изменения собственных гармонических искажений тока и напряжения на выходе ДГУ в зависимости от режимов работы ГЭД. Из диаграммы видно, что с понижением частоты вращения ГЭД СГИ напряжения несколько снижаются (с 12% в при номинальных оборотах, до 5,2% - при

пониженных), а тока растёт (с 26% до 42%, соответственно). В то же время, согласно ГОСТ 13109-97, суммарные гармонические искажения (СГИ) по напряжению должно быть меньше 8 %, а СГИ по току - меньше 30%.

Такой характер изменения СГИ наблюдался при неизменном количестве работающих ДГУ. Хотя в номинальном режиме предполагается использование двух ДГУ, из-за повышенных гармонических искажений, с понижением оборотов ГЭД, работа сети становилась неустойчивой, срабатывали защиты генераторов, наблюдались повышенные акустические шумы частей ГЭД. Коэффициент мощности

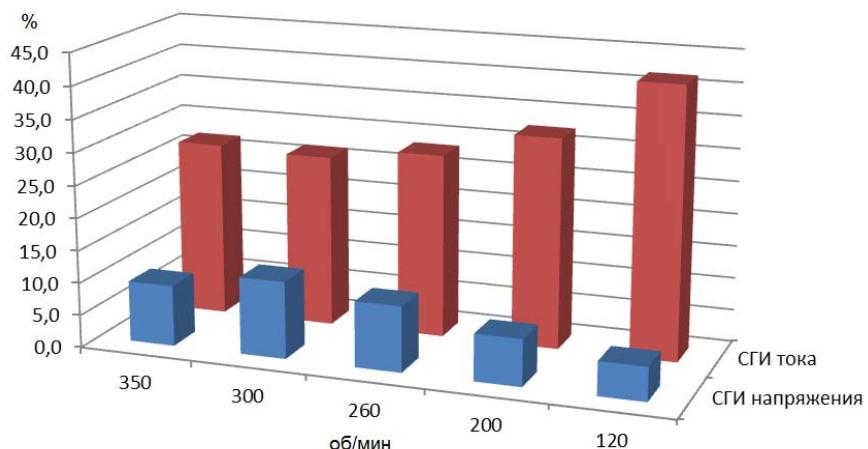


Рис. 1. Изменение СГИ тока и напряжения в зависимости от режимов работы судна

при этом был пониженным и, в результате, при полной загрузке ДГУ, активная мощность, потребляемая от них, составляла около 50% полной.

Срабатывание функциональных защит при динамически изменяющихся высоких нагрузках приводил к выходу генераторов ДГУ из синхронизма, что часто приводило к полному обесточиванию судна.

Результаты измерений пик-факторов тока и напряжения для различных режимов работы судна позволили получить первоначальное впечатление о функционировании системы электроснабжения, показывая реальное значение искажения формы тока и напряжения. Заметим, что величина пик - фактора выше 1,8 говорит о недопустимо сильных искажениях.

По результатам измерений выясено, что коэффициент амплитуды пик-фактора по току варьируется между 1,52 и 1,92, выходя за допустимые пределы искажений при понижении нагрузки.

Коэффициент амплитуды по напряжению в номинальных режимах варьируется между 1,46 и 1,54, увеличивая значения при повышении нагрузки. Данное обстоятельство объясняется тем, что при повышении скорости ГД увеличивается СГИ по напряжению.

Характер изменения искажений тока и напряжения в зависимости от изменения нагрузки ТП подтверждается и диаграммой на рис.1.

В итоге, по результатам исследования, в оптимальном ходу теплохода, мы получили, что гармоники под номерами №5, №11, №15, №17, №19, №23, №25, №27, №29, №31, №33, №35, №37, №39 и №41 превышают допустимые значения.

Следует отметить, что при увеличении числа работающих на сеть генераторов, показатель СГИ уменьшается за счет распределения нагрузки на большее количество генераторов, при этом большее значения гармоник находится в пределах нормы. Однако данный режим использования ДГУ экономически не выгоден ввиду увеличения эксплуатационных расходов и материальных затрат (на топливо, масло). Между тем, в оптимальном ходу судно используется в течении 95% времени работы.

На рис.2 приведены формы линейных напряжений судовой сети, на которых виден характер зарегистрированных искажений. Причем видно наличие как периодических, так и непериодических искажений форм напряжений.

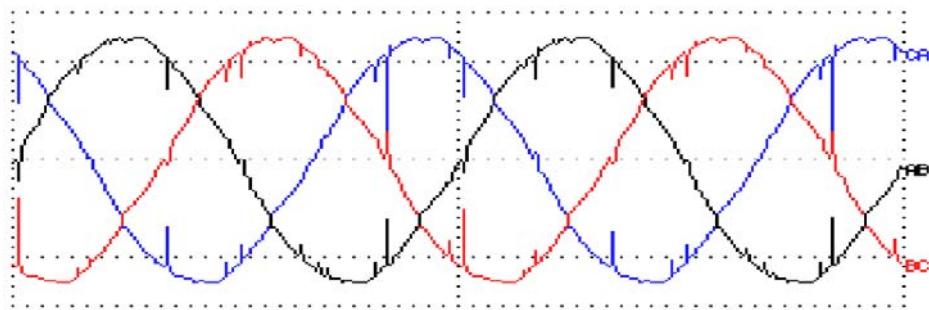


Рис. 2. Формы линейных напряжений судовой сети

Выводы

В результате, на основании проведенных экспериментов, исследованная сеть характеризуется следующим образом:

наличие гармоник тока и напряжения, значения которых существенно превышают допустимые, вызывая различные негативные последствия для судового электрооборудования, вплоть до срыва работы самих ТП, генерирующих их;

высокое значение пик-фактора, характеризующего искажение формы синусоиды тока и напряжения; срабатывание функциональных защит;

при динамически изменяющихся высоких нагрузках и, как следствие, выход генераторов из синхронизма вплоть до полного обесточивания судна;

при использовании двух ДГУ нет возможности обеспечения оптимальной скорости по причине наличия в сети высших гармоник.

Список литературы: 1. Шейнихович В. В., Климанов О. Н., Пайкин Ю. И., Зубарев Ю. Я. Качество электрической энергии на судах: Справочник/ КЗО-Л.: Судостроение, 1988.-160 с., ил. (Библиотека судового электротехника). 2. Плахтина О. Г., Мазепа С. С., Куцик А. С. Частотно-управляемые асинхронные и синхронные электроприводы Львов: Издательство Национального Университета «Львовская политехника», 2002.-227 с.

УДК 621.311

Вплив тиристорних випрямлячів електродвіжітельного комплексу судна на суднову електроенергетичну систему/ Жиленков А. О., Седаков І. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С. 116-119

Представлені експериментальних досліджень впливу потужних тиристорних випрямлячів на автономну електростанцію, що їх живить. Іл.: 2. Бібліогр.:2. назв.

Ключові слова: автономна електростанція, потужні тиристорні випрямлячі

UDK 621.311

Influence of thyristor rectifiers of electropulsion complex of ship on the ship electroenergy system/ Zhilenkov A., Sedakov I. //Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - № 50(956). P. 116-119

The results of experimental researches of influence of powerful thyristor rectifiers on autonomous power-station that feeding them are presented. Im.:2 : Bibliogr.: 2.

Keywords: autonomous power-station, powerful thyristor rectifiers

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 629.735.083.02.06(045)

Ю. М. ТЕРЕЩЕНКО, д-р техн. наук, проф., НАУ, Київ;

I. О. ЛАСТИВКА, канд. техн. наук, доц., зав. каф., НАУ, Київ;

К. В. ДОРОШЕНКО, канд. техн. наук, доц., зав. каф., НАУ, Київ

ДОСЛДЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПОТОКУ ЗА РЕШІТКАМИ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОФІЛІВ З ГАЗОДИНАМІЧНИМ УПРАВЛІННЯМ ОБТІКАННЯМ

Представлено результати чисельного моделювання течії в решітках аеродинамічних профілів з газодинамічним управлінням обтіканням при різній густоті решіток. На основі отриманих результатів проведено оцінку залежності нерівномірності потоку від інтенсивності газодинамічної дії на структуру потоку за профілями вхідного направляючого апарату осьового компресора. Іл.: 3. Бібліогр.:5. назв.

Ключові слова: нерівномірність потоку, газодинамічне управління, осьовий компресор, чисельний розрахунок.

1. Вступ

Однією з головних задач у проблемі підвищення економічності авіаційних газотурбінних двигунів є задача вдосконалення параметрів і характеристик компресорів газотурбінних двигунів. Покращення параметрів і характеристик компресорів ГТД передбачає всебічне вивчення течії в проточній частині двигуна і утворення втрат у лопаткових вінцях.

© Ю. М. ТЕРЕЩЕНКО, I. O. ЛАСТИВКА, K. V. ДОРОШЕНКО, 2012

Одним із важливих факторів, який негативно впливає на напірність, ККД компресора і його газодинамічну стійкість, є нерівномірність і пульсації потоку на вході в компресор. Неоднорідність потоку на вході в лопаткові вінці компресора пояснюється збурюваннями потенціальної течії та наявністю кромкових слідів за елементами у вхідному каналі двигуна.

Аеродинамічне вдосконалення компресорів ГТД є одним із шляхів вирішення загальної проблеми підвищення ефективності газотурбінних двигунів [1, 2]. Як на розрахунковому, так і на нерозрахункових режимах ефективність роботи компресорів визначається рівнем гіdraulічних втрат у проточній частині. Цілком очевидно, що найкращі характеристики компресор мав би при відсутності гіdraulічних втрат при беззривному обтіканні лопаткових вінців у широкому діапазоні робочих режимів. У зв'язку з цим одна із задач полягає в розробці методів зниження рівня втрат, обумовлених наявністю зрывних зон у лопаткових вінцях. Достатньо важливою є також задача забезпечення необхідних за рівнем нерівномірності й нестационарності параметрів потоку перед компресором, усунення періодичної колової нерівномірності потоку, обумовленої аеродинамічними слідами за елементами статора компресора і двигуна в цілому.

Основна мета газодинамічного впливу на потік полягає у зниженні рівня гіdraulічних втрат і вирівнюванні поля швидкостей і тиску в лопаткових вінцях ступенів осьового компресора. Ефективність газодинамічного впливу залежить від багатьох факторів, одним з яких є геометричні параметри решіток.

2. Постановка задачі

В роботі ставиться задача розрахункового дослідження впливу на структуру потоку газодинамічного управління обтіканням профілів в решітках з різною густотою.

3. Розв'язання задачі й аналіз результатів

За допомогою чисельного експерименту можна досліджувати складні моделі течії. Важливим питанням при використанні чисельного експерименту, побудованого на основі розв'язання осереднених за Рейнольдсом рівняння Нав'є-Стокса, є вдалий вибір моделі турбулентної в'язкості. Достовірність отриманих результатів повинна спиратися на порівняння з експериментальними даними тестових задач.

Використання чисельного експерименту ефективне при вирішенні задач удосконалення параметрів газотурбінного двигуна та для детального дослідження його проблемних частин. Чисельний експеримент дає можливість перевірити той варіант геометрії проточної частини ГТД, який був отриманий за допомогою аналітичного методу. Окрім того, за допомогою чисельного експерименту можна детально дослідити проблемні лопаткові вінці. А відсутність обмежень по числах Маха і Рейнольдса робить чисельні методи незамінними при дослідженні таких режимів роботи двигуна, які неможливо моделювати іншими способами.

Один з найбільш важливих етапів чисельного дослідження течії газу пов'язаний з побудовою розрахункової сітки. Оскільки система диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, що описує течію газу, досить складна і аналітично розв'язати її поки що неможливо, у практиці досліджень газових потоків широко застосовуються чисельні методи розв'язання таких рівнянь. Для цього суцільна розрахункова область, через яку тече газ, представляється як сукупність ізольованих вузлів або сітки. Тобто суцільна область представляється як дискретна. Розв'язок рівнянь знаходиться тільки в цих вузлах, але при цьому застосовується не система диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, а її кінцево-різницевий аналог. Він отримується шляхом заміни всіх

частинних похідних кінцевими різницями. У результаті кожне диференціальне рівняння записується як лінійне алгебраїчне рівняння.

Найбільш зручними для проведення розрахунків є регулярні сітки, але на практиці такі сітки не вдається використовувати внаслідок того, що межа розрахункової області не співпадає з вузлами регулярної сітки. Замість цього широко використовуються сітки, що повторюють форму тіла, яке обтікається, або нерегулярні сітки. Окрім того, нерегулярні сітки приходиться використовувати і внаслідок того, що при розрахунку течії газу чисельними методами вони працюють не на суцільному розрахунковому полі, а на дискретизованому.

Параметри течії в різних зонах розрахункової області і в різних напрямах змінюються з різною інтенсивністю. Наприклад, в ядрі потоку параметри течії змінюються дуже мало, отже тут не потрібна занадто густа сітка. У примежових шарах навпаки, вони значно змінюються на малих відстанях у напрямі, перпендикулярному до поверхні лопатки. Тому для раціонального використання ресурсів обчислювальної техніки в деяких підобластях сітки роблять густішою, тобто використовують адаптивну нерегулярну сітку

Для дослідження течії в решітках профілів з активним управлінням обтіканням використовувався чисельний експеримент, функціональність якого була перевірена на тестових задачах у роботах [3, 4, 5].

Для проведення чисельного експерименту була побудована твердотільна модель. Для можливості коректно поставити умову періодичності розрахункова область обмежена бічними поверхнями, проведеними по середніх лініях течії в сусідніх міжлопаткових каналах. Була побудована розрахункова нерегулярна адаптивна сітка порядку 1 млн. вічок. У якості робочого тіла використовувалося повітря при нормальних атмосферних умовах. Для замикання рівнянь Нав'є-Стокса використовувалася модель турбулентної в'язкості SST Ментера.

У якості об'єкта дослідження розглядалась решітка лопаток, поміщена в дозвуковій аеродинамічній трубі. Параметри повітря на вході в решітку відповідали числу Maxa $M = 0,5$. Основні параметри досліджуваної решітки:

- густота решітки $\bar{b} = (b/t) = 0,67; 1,0; 2,0;$
- хорда профілів $b = 115\text{мм};$
- відносна товщина профілю $\bar{c} = 0,10;$
- відносна товщина вихідної кромки лопатки $\bar{\delta}_k = (\delta_k/b) = 0,005;$
- відносне розташування щілини на поверхні лопатки $\bar{x}_{u_1} = (x_{u_1}/b) = 0,7;$
- відносна висота вихідного перерізу щілини на поверхні лопатки $\bar{h}_{u_1} = (h_{u_1}/b) = 0,0095;$
- кут між фронтом решіток і вектором абсолютної швидкості $\gamma_1 = 90^\circ;$
- кут атаки $i=0;$
- густота і швидкість повітря, що видувається із щілини, $\rho_e, c_e;$
- емпіричний коефіцієнт, що враховує особливості форми аеродинамічних профілів, $K;$
- густота і швидкість основного потоку повітря $\rho_0, c_0.$

Інтенсивність газодинамічного управління структурою аеродинамічних слідів за решіткою аеродинамічних профілів характеризувалася безрозмірним коефіцієнтом імпульсу видуву [2]

$$c_\mu = K \frac{\rho_e}{\rho_0} \cdot \frac{c_e^2}{c_0^2} \cdot \frac{b}{t} \bar{h}_{uq} \frac{1}{\sin \gamma_1}.$$

Як відомо, при докритичних режимах повітря із щілини $\rho_e = \rho_0$, тому

$$c_\mu = K \frac{b}{t} \cdot \frac{c_e^2}{c_0^2} \bar{h}_{uq}.$$

Для досліджуваної решітки при $(b/t) = 0,67$ інтенсивність газодинамічного управління $c_\mu = 0,0347 \frac{c_e^2}{c_0^2}$, при $(b/t) = 0,1$ $c_\mu = 0,052 \frac{c_e^2}{c_0^2}$, при $(b/t) = 2,0$

$$c_\mu = 0,104 \frac{c_e^2}{c_0^2}.$$

Рівень нерівномірності потоку α визначався як модуль відношення різниці абсолютної швидкості ядра основного потоку c_0 і абсолютної швидкості потоку в ядрі сліду $c_{\kappa \min}$ до абсолютної швидкості c_0 , тобто:

$$\alpha = \left| \frac{c_0 - c_{\kappa \min}}{c_0} \right|.$$

Зміна інтенсивності газодинамічного впливу на структуру сліду, яка визначається значеннями коефіцієнта імпульсу видуву c_μ , здійснювалася заданням різних значень параметрів повітря, що видувається. Параметри повітряного потоку в аеродинамічних кромкових слідах із видувом повітря замірювали на різній відстані $\bar{x} = x/b$ від вихідної кромки профілю по осі сліду вниз по потоку.

На рис. 1, 2 представлено залежності нерівномірності потоку від інтенсивності газодинамічного впливу на структуру потоку за решітками профілів на різній відстані від вихідної кромки профілю по осі сліду вниз по потоку для різних значень густоти решітки.

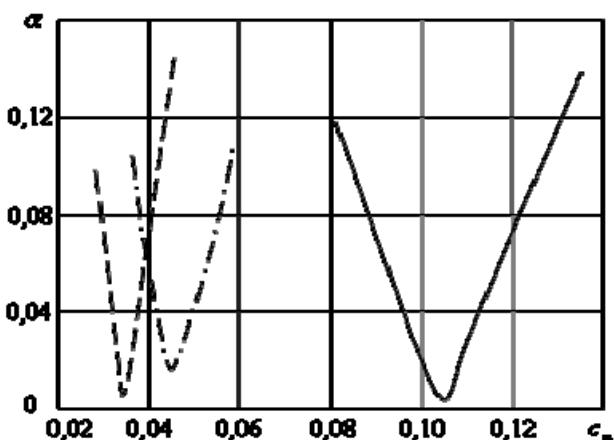


Рис.1. Залежність нерівномірності потоку від інтенсивності газодинамічного впливу на структуру потоку за решітками профілів

при $\bar{x}=0,1$: $-- (b/t)=0,67$; $- \cdot - (b/t)=1,0$; $— (b/t)=2,0$

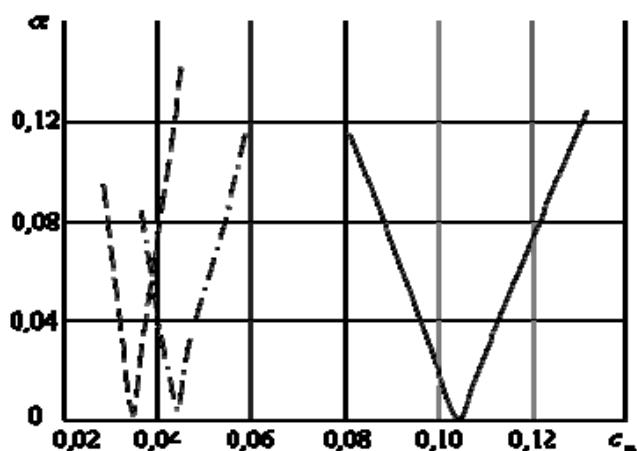


Рис. 2. Залежність нерівномірності потоку від інтенсивності газодинамічного впливу на структуру потоку за решітками профілів

при $\bar{x}=0,2$: $-- (b/t)=0,67$; $- \cdot - (b/t)=1,0$; $— (b/t)=2,0$

Аналіз результатів розрахунків показує, що рівень нерівномірності потоку α падає зі збільшенням в певному діапазоні значень інтенсивності газодинамічної дії на структуру потоку c_μ . Для кожного фіксованого значення густоти решіток маємо відповідне значення c_{μ_0} , при якому досягається мінімум функції $\alpha = f(c_\mu)$.

На рис.3 показано залежність коефіцієнта імпульсу видуву C_{μ_0} від густоти решітки b/t . Для решіток з густотою $(b/t) = 0,67$, $(b/t) = 1,0$, $(b/t) = 2,0$ інтенсивність управління аеродинамічними слідами, при якій рівень нерівномірності потоку досягає мінімальної величини $\alpha = \alpha_{\min}$, має значення $c_{\mu_0} = 0,035$, $c_{\mu_0} = 0,045$, $c_{\mu_0} = 0,105$, відповідно.

Для решітки з густотою $(b/t) = 0,67$ на відстані $\bar{x} = 0,1$ від вихідної

кромки профілю рівень нерівномірності зменшується до величини $\alpha_{\min} = 0,004$ при значенні $c_{\mu_0} = 0,035$. Для густоти $(b/t) = 1,0$ та $(b/t) = 2,0$ на відстані $\bar{x} = 0,1$ рівень нерівномірності набуває значень $\alpha_{\min} = 0,019$ та $\alpha_{\min} = 0,011$ при $c_{\mu_0} = 0,045$ та $c_{\mu_0} = 0,105$, відповідно.

На відстані $\bar{x} = 0,2$ для решіток з густотою $(b/t) = 0,67$, $(b/t) = 1,0$, $(b/t) = 2,0$ мінімальні величини рівня нерівномірності становлять $\alpha_{\min} = 0,004$, $\alpha_{\min} = 0,0018$, $\alpha_{\min} = 0,0001$ при значеннях інтенсивності імпульсу видуву $c_{\mu_0} = 0,035$, $c_{\mu_0} = 0,045$, $c_{\mu_0} = 0,105$, відповідно.

4. Висновки

Результати чисельного моделювання течії в решітках аеродинамічних профілів з газодинамічним впливом на структуру потоку показують, що рівень колової нерівномірності потоку за вихідними кромками профілів вхідного направляючого апарату може бути суттєво знижений. Для решіток з густотою $(b/t) = 0,5 - 2,0$ інтенсивність управління обтікання лопаток, при якій рівень нерівномірності потоку зменшується до $\alpha = \alpha_{\min}$, знаходиться в діапазоні $0,035 < c_\mu < 0,105$.

Список літератури: 1. Терещенко Ю. М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю. М. Терещенко // – М. : Машиностроение, 1987. – 168 с. 2. Терещенко Ю. М. О влиянии некоторых аэродинамических факторов на возбуждение колебаний лопаток турбомашин / Ю. М. Терещенко // Проблемы прочности. Институт проблем прочности АН УССР. – К. : Наукова думка, 1976. – № 3. – С. 30–32. 3. Терещенко Ю. М. Моделирование течения на пластине / Ю. М. Терещенко, И. А. Ластівка, Е. В. Дорошенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. – Харьков: Технологический центр, 2012. – №1/7 (55). – С. 30–32. 4. Терещенко Ю. М. Численный расчет течения в плоском симметричном дифузоре / Ю. М. Терещенко, И. А. Ластівка, Л. Г. Волянская, Е. В. Дорошенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. – Харьков: Технологический центр, 2011. – №6/8 (54). – С. 19–22. 5. Ластівка І. О., Дорошенко К. В.

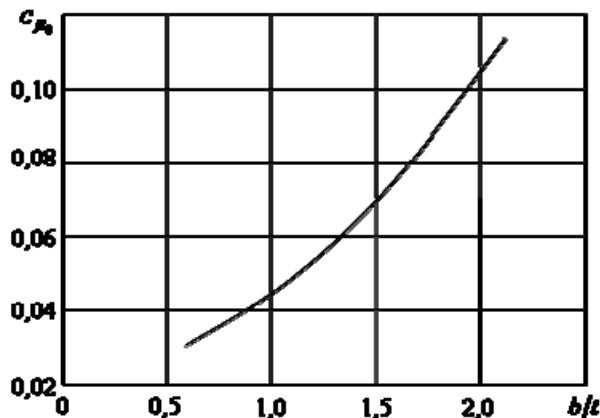


Рис. 3. Залежність C_{μ_0} від густоти решітки b/t

Чисельний розрахунок потоку в решітці аеродинамічних профілів з газодинамічним управлінням обтеканням // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ» – 2011. – №43. – С. 137–141.

УДК 629.735.083.02.06(045)

Исследование неравномерности потока за решетками аэродинамических профилей с газодинамическим управлением обтеканием/ Ю. М. Терещенко, И. А. Ластивка, Е. В. Дорошенко//Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - №50(956). С. 119-124

Представлены результаты численного моделирования течения в решетках аэродинамических профилей с газодинамическим управлением обтеканием при разной густоте решеток. На основе полученных результатов проведена оценка зависимости неравномерности потока от интенсивности газодинамического воздействия на структуру потока за профилями входного направляющего аппарата осевого компрессора. Из.: 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: неравномерность потока, газодинамическое управление, осевой компрессор, численный расчет.

UDK 629.735.083.02.06(045)

Research of flow non-uniformity behind the blade cascade with gasdynamic flow control/ Y. Tereshenko, I. Lastivka, K. Doroshenko//Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - №50(956) . P. 119-124

The results of computational modeling of flow in blade cascade are given in the article. Flow non-uniformity dependence on intensity of gasdynamic effect on the flow structure behind airfoils of inlet guide vane of axial compressor are investigate for different solidity under active flow control. Im.:3 : Bibliogr.: 5.

Keywords: flow non-uniformity, active flow control, axial compressor, computational modeling of flow.

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 621.182.2.001.57

Є.Є. ЧАЙКОВСЬКА, канд. техн. наук, доц., , ОНТУ, Одеса

ПІДТРИМКА ЕЛЕКТРОАКУМУЛЮВАННЯ НА РІВНІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Запропоновано підтримувати електроакумулювання на основі оцінки зміни теплової акумулюючої ємності. Іл.: 4. Бібліогр.: 6 назв.

Ключові слова: електроакумулювання, прийняття рішень.

Вступ

В існуючих технологіях підтримки функціонування вітроенергетичних установок використовують не завжди достовірну оцінку зміни напруги заряду та розряду, наприклад, свинцево-кислотного електроакумулятора, що відбувається пізніше за часом, ніж зміна температури електроліту, її щільності у порах пластин та над пластинами, що може привести до як можливого перезаряду електроакумулятора, так і недопустимого розряду в умовах непостійності вітрового потоку та зміни споживання [1].

Постановка задачі

На основі аналізу впливу температури електроліту на теплообмін у електроакумуляторі встановлена можливість прийняття рішень на зміну ємності

© Є.Є. ЧАЙКОВСЬКА, 2012

електроакумулятора на основі оцінки зміни теплової акумулюючої ємності електроліту (рис. 1).

3.Рішення задачі

З цією ціллю з використанням математичного обґрунтування архітектури експертних систем [2-6] запропоновано експертну систему електроакумулювання, що заснована на узгодженні взаємодії динамічної підсистеми – електроакумулятора як основи та блоків заряду-розряду, зміни ємності та оцінки функціональної ефективності системи електроакумулювання (рис. 2).

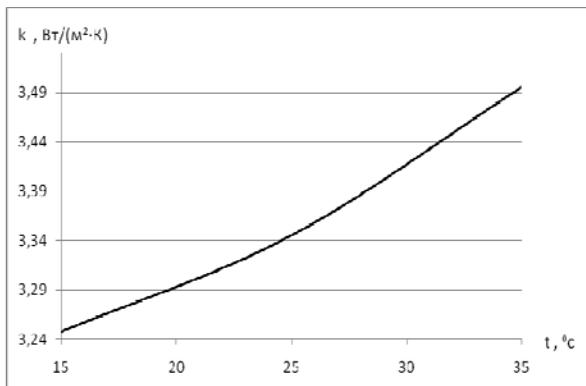


Рис. 1. Зміна коефіцієнта теплопередачі в електроакумуляторі в залежності від температури електроліту

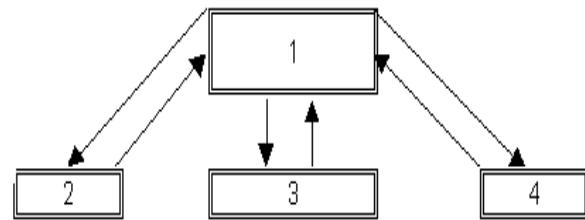


Рис. 2. Архітектура експертної системи електроакумулювання: 1 – динамічна підсистема - електроакумулятор; 2 – блок заряду-розряду; 3- блок зміни ємності; 4 – блок оцінки функціональної ефективності

Основою для здобуття діагностичної інформації як еталонної, так і функціональної є математична модель динаміки зміни температури електроліту в режимах заряду та розряду, що розроблена на основі методології математичного опису динаміки енергетичних систем як основи діагностики[2-6]. Система диференціальних рівнянь включає рівняння стану як оцінку фізичної моделі електроакумулятора, рівняння енергії заряду та енергії розряду, рівняння теплового балансу для пластин електроакумулятора. Рівняння енергії, розроблені щодо істотного параметра, що діагностується – температури електроліту із представленням її зміни не тільки в часі, але й уздовж просторової координати пластин електроакумулятора. В результаті реалізації системи нелінійних диференціальних рівнянь отримана передатна функція за каналом: «температура електроліту – витрата електроліту», що має такий вид:

$$W_{t-G1} = \frac{K \varepsilon (1-L^*)}{L \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma_1 \xi}),$$

$$\text{де } K = \frac{m(\theta_0 - t_0)}{G_0}; \quad \varepsilon = \frac{\alpha h}{\alpha h}; \quad L^* = \frac{1}{L+1}; \quad L = \frac{G C}{\alpha h}; \quad L = \frac{G C}{\alpha h}; \quad \beta = T S + \varepsilon^* + 1; \quad T = \frac{g C}{\alpha h}; \\ \varepsilon^* = \varepsilon(1-L^*); \quad \gamma = \frac{(T S + 1) \beta - 1}{L \beta}; \quad T = \frac{g}{\alpha h}; \quad L = \frac{G C}{\alpha h}; \quad \gamma_1 = \frac{(T S + 1) \beta - 1}{\beta}; \quad \xi = \frac{z}{L},$$

де t , θ - температура електроліту, пластини, K , відповідно; G – витрата речовини, $\text{кг}/\text{с}$; C – питома теплоємність, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{kBt}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; h – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}$; g – питома маса речовини, $\text{кг}/\text{м}$; z – координата довжини пластини, м ; T_b , T_m – постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність робочого тіла, метала, с ; m – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати; S – параметр перетворення Лапласа. Індекси: b – внутрішній потік, m – металева стінка, z – зовнішній потік; 0, 1- початкові умови, вхід в електроакумулятор, відповідно.

Так, на основі метода графа причинно-наслідкових зв'язків [2 -6] розроблена логічна модель контролю працездатності електроакумулятора щодо здобуття інформації на рівні прийняття рішень.

Так, наприклад, на основі узгодженої взаємодії динамічної підсистеми та блоку зміни ємності електроакумулятора у складі експертної системи з використанням здобутої підсумкової інформації:

$$(CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t - (\tau) > \Delta t - (\tau) / \Delta t - (\tau))), \quad (1)$$

$$(CT_c(\tau)(-\Delta t(\tau) / -\Delta t - (\tau) < -\Delta t - (\tau) / \Delta t - (\tau))), \quad (2)$$

при безперервному вимірюванні температури електроліту у фіксований інтервал часу можливо приймати рішення на збільшення чи зменшення ємності електроакумулятора, відповідно, до зміни його напруги (рис.4).

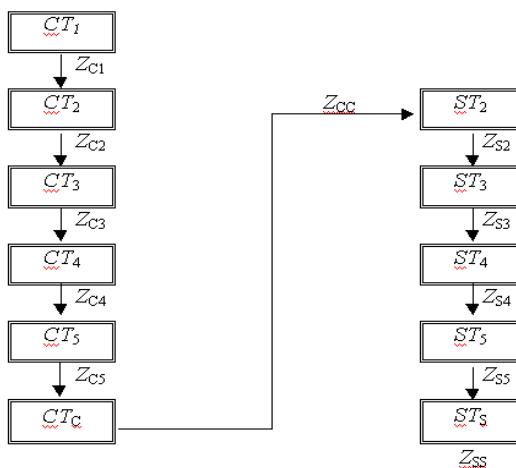


Рис. 3. Граф причинно-наслідкових зв'язків динамічної підсистеми

CT - контроль подій; Z - логічні відносини; ST - ідентифікація подій. Індекси: 1 - впливи; 2 - внутрішні параметри, що діагностуються; 3 - коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 - істотні параметри, що діагностуються; 5 - динамічні параметри; c - контроль працездатності; s - стан

Висновки

З використанням запропонованої інтелектуальної системи управління електроакумулюванням можливо своєчасно приймати рішення щодо зміни ємності електроакумулятора на основі контролю співвідношення виробництва та споживання енергії в умовах непостійності вітрового потоку. Такий підхід дозволяє не тільки підтримувати процес електроакумулювання, не допускаючи перезаряду та не допустимого розряду електроакумулятора, а й, встановлюючи зв'язок з теплоакумулюванням, виконувати перерозподіл енергії щодо збільшення терміну використання вітроенергетичної установки.

Так, встановлена можливість за рахунок зміни рівня теплової акумуляції теплоелектроакумулятора зменшити термін його заряду та додатково акумулювати якісну енергію в електроакумуляторі, що дозволяє здобувати економію дизельного палива для вітротурбінної установки потужністю 10 кВт, наприклад, що в грошовому еквіваленті складає приблизно 60 тис. грн. за рік [6].

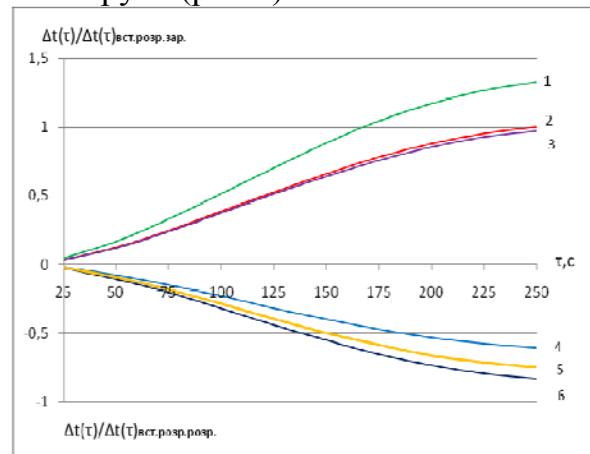


Рис. 4. Інтелектуальна система управління електроакумулятора

1, 6 – функціональне діагностування збільшення, зменшення ємності; 2, 5 - гранично припустима працездатність при заряді та розряді, відповідно 3, 4 - прийняття рішень та ідентифікація нових умов функціонування щодо додаткового заряду чи розряду, відповідно, де t – час, с; індекси: вст.розр. зар., вст.. розр. розр. – встановлене, розрахункове значення параметра при заряді та розряді, відповідно

Список літератури: 1. Приходько А. А., Елісеев В. І., Бурилова Н.В. Математическое моделирование тепломассопереноса и электрических процессов в ячейке химического источника тока [Текст] / А. А.Приходько, В. И.Елісеев, Н. В. Бурилова // Промышленная теплотехника. - 2007, Т.29.- №3. - С.43-46. 2. Чайковська Є. Є. Інтелектуальне управління функціонуванням енергетичних систем на основі контролю їх працездатності [Текст] / Є. Є.Чайковська // Восточно - Европейский журнал передовых технологий.- 2006.- №3/2(21) .- С. 48-52. 3. Чайковская Е. Е. Управление согласованием производства и потребления теплоты на уровне принятия решений [Текст] / Е. Е Чайковская //Восточно-Европейский журнал передовых технологий.—2007.-№ 2/3(26) .-С.16-20. 4. Чайковская Е. Е. Поддержание функционирования\ энергетических систем на основе интеллектуального управления тепломассобменными процессами [Текст] / Е. Е. Чайковская// Труды 6-го Минского Международного Форума по тепломассобмену.- ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, 8-05, 2008.-С.1-10. 5.Чайковська, Є. Є.Енергозберігаючі технології на рівні прийняття рішень [Текст] / Є. Є.Чайковська // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Серія ”Нові рішення в сучасних технологіях ”. – Харків, 2012. –№33. – С.103 - 108.6.Чайковська Є. Є., Сивоглаз Г. В. Підтримка функціонування вітродизельної енергетичної установки [Текст] / Є. Є. Чайковська, Г. В. Сивоглаз // VI Международная научно-практическая конференция “Aktualni vymozhenosti Vedy -2010”: Материалы докл. , Прага. 27 июня -5 июля 2010.- С.39-43.

УДК 621.182.2.001.57

Поддержка электроаккумулирования на уровне принятия решений/ Е. Е. Чайковская //Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. - №50(956). С. 124-127

Предложено поддерживать электроаккумулирование на основе оценки изменения тепловой аккумулирующей емкости. Ил.: 4. Библіogr.:6. назв.

Ключевые слова: электроаккумулирование, принятие решений

УДК 621.182.2.001.57

Support for electro accumulation on decizion –maiking level / E. Chaikovskaya //Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - №50(956). P. 124-127

It is suggested to support electro accumulation on the basis of estimation of change of heat accumulation capacity. Il.:4 : Bibliogr.: 6.

Keywords: electro accumulation, on decision-making level

Надійшла до редакції 20.09.2012

УДК 621.224

К. А. МИРОНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков;

И. И. ТЫНЬЯНОВА, канд. техн. наук, ст. преп., НТУ «ХПИ», Харьков;

А. А. ГУЛАХМАДОВ, аспирант, НТУ «ХПИ», Харьков

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ВЫСОКОНАПОРНЫХ РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫХ ГИДРОТУРБИН

В работе рассмотрены вопросы повышения энергетических показателей проточных частей высоконапорных гидротурбин. Исследовалось влияние геометрических параметров лопастной системы рабочего колеса и формы профилей лопатки направляющего аппарата на формирование энергокавитационных качеств гидротурбины. Из.: 6. Библиогр.: 22 назв.

© К. А. МИРОНОВ, И. И. ТЫНЬЯНОВА, А. А. ГУЛАХМАДОВ, 2012

Ключевые слова: гидротурбина, проточная часть, рабочее колесо, направляющий аппарат.

Вступление. Совершенствование проточных частей (ПЧ) гидротурбины (ГТ) базируется на проведении обширных численных исследований, в процессе которых осуществляется поиск наиболее рациональных вариантов. В основе такого поиска лежит многовариантный численный анализ влияния геометрических и режимных параметров отдельных элементов ПЧ на энергетические показатели ГТ.

Применение ЭВМ при проектировании ПЧ имеет определенные преимущества: значительное уменьшение затрат времени на разработку новой ПЧ; возможность реализации более совершенных алгоритмов, как на стадии проектирования, так и на стадии прогнозирования характеристик новой ПЧ; возможность реализации численного эксперимента, что позволяет минимизировать количество изготавливаемых моделей и затрат на физический эксперимент.

Анализ последних исследований и литературы. Для решения этой задачи используются как упрощенные модели течения, так и более сложное кинематическое описание потока с помощью квазитрехмерных и трехмерных моделей течения жидкости [1-4].

Разработка высокоэффективных ПЧ связано с совершенствованием лопастной системы рабочего колеса (РК) ГТ, что представляет собой довольно длительный итерационный процесс. На кафедре гидромашин НТУ «ХПИ» накоплен обширный опыт проектирования и прогнозирования энергокавитационных характеристик радиально-осевых (РО) РК [5–18], подтвержденный экспериментальными исследованиями.

Цель исследования – разработка в сжатые сроки ПЧ высоконапорных РО ГТ с высокими энергокавитационными показателями.

Материалы и результаты исследования. Для профилирования лопастной системы РК необходимо определить форму меридионального потока. В принятой полости РК, на основании результатов экспериментальных и расчетных исследований потока ГТ близкой быстроходности рассчитывают меридиональный поток. Поток в полости РК типа РО500 был принят равноскоростным. Такое допущение приемлемо при построении потока в тихоходных РО РК, когда поворот потока осуществляется достаточно плавно.

В случае равноскоростного потока градиент давления вдоль нормалей к поверхностям тока $\partial p / \partial n \geq 0$. Значительное нарушение равновесия потока на обеих сторонах лопасти ведет к смещению расхода к одному из ободьев РК. Если поток смещается в направлении втулки, то крутящий момент РК снижается; следовательно, уменьшается КПД турбины. Кроме того, нарушение равновесия на одной из сторон лопасти вызывает неодинаковое смещение линий тока на лицевой и тыльной сторонах лопасти. Пересечение линий тока в лопастном канале приводит к образованию вторичных течений, возникновению вихрей и увеличению потерь энергии как в РК, так и в отсасывающей трубе.

Профилирование лопастной системы РК выполнялось одномерным методом при заданном положении входной и выходной кромок лопасти с последующим отображением на конформную поверхность. Для удобства в качестве конформной поверхности выбран цилиндр диаметром 1 метр. Это позволяет сравнивать все

профиля на единой развертке [15].

Форма полости, положение входной и выходной кромок были выбраны, ориентируясь на лучшие РК близкой быстроходности, разработанные на кафедре гидромашин НТУ «ХПИ» (рис. 1). Расчетные параметры оптимального режима были приняты следующие: $Q_1 = 150 \text{ л/с}$; $n_1 = 60 \text{ мин}^{-1}$.

С целью расчетной оценки ожидаемых энергокавитационных показателей спроектированного РК выполнен расчет обтекания решёток профилей лопастной системы РК на криволинейных поверхностях тока в слое переменной толщины, который осуществлялся методом ЦКТИ [19, 20] для трех решёток профилей (ступица, средняя, нижний обод). Задачей расчета являлось определение значений относительной скорости $W(S)$ и давления $\bar{p}(S)$ на лицевой и тыльной сторонах профилей решёток спрофилированной лопастной системы РК; определение профильных, ударных, циркуляционных потерь, осредненных параметров потока в межлопастных каналах и момента скорости $(rCu)_2$ на выходе из решёток. Также определялись параметры оптимального режима.

Для обеспечения условия равновесия потока ($\partial p / \partial n \approx 0$) и уменьшения вторичных течений в полости РК необходимо обеспечить минимальный градиент давления вдоль нормалей к поверхностям тока. Увеличение выходного угла лопасти у обода РК (рис. 2) привело к уменьшению градиента давления вдоль нормалей к поверхностям тока. Что должно привести к уменьшению вторичных течений в каналах и полости РК, т.е. к уменьшению вызванных этим явлением потерь энергии. Также спроектированное РК имеет небольшую положительную закрутку потока вблизи втулки и нижнего обода, что позволяет предположить хорошее согласование РК и отсасывающей трубы [11, 17, 18]. Расчет проводился для РК с разным числом лопастей $z=9; z=13; z=17$. Результаты расчета приведены в табл. 1.

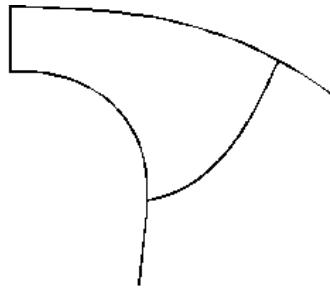


Рис. 1. Меридиональная проекция РК РО500

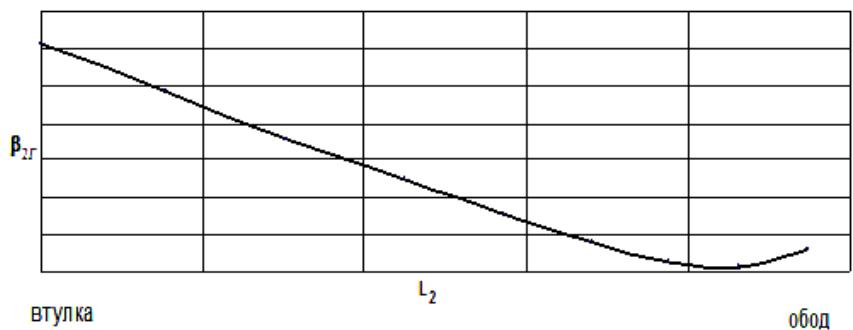


Рис. 2. Геометрические углы $\beta_{2r}(L_2)$ вдоль выходной кромки РК РО 500

Таблица 1 - Результаты расчета энергокавитационных характеристик РК

Вариант	z_{RK}	Σh	σ
1	9	2,16	0,053
2	13	1,54	0,04
3	17	1,3	0,025

В высоконапорных гидротурбинах существенную роль в общем балансе потерь составляют потери энергии в направляющем аппарате (НА) [21]. Поэтому при

профилировании лопастной системы РК необходимо учитывать структуру потока за лопатками НА, которая зависит от формы полости в зазоре между лопастными системами НА и РК (рис. 3).

В работе была проведена оценка влияния формы профиля лопатки НА (рис. 4) на формирование оптимального режима. Получены параметры оптимального режима с тремя различными формами профиля лопаток НА (табл. 2).

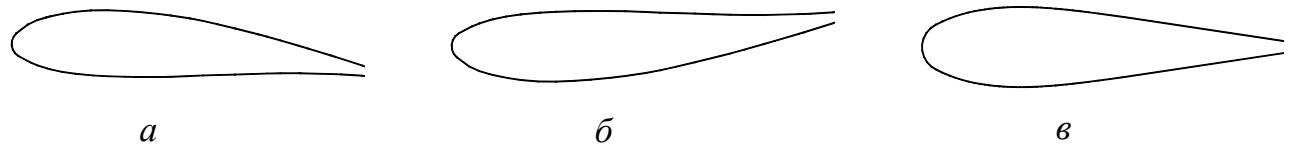


Рис. 3. Структура потока за НА на оптимальном режиме работы ГТ РО 500

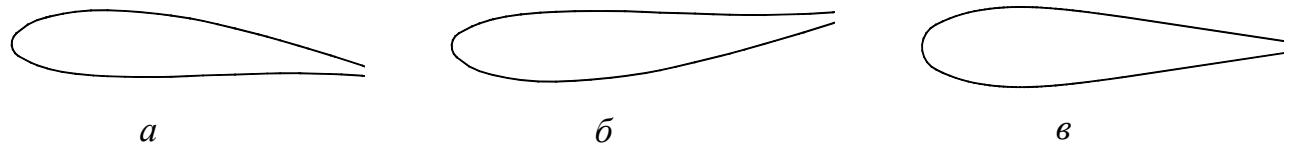


Рис. 4. Формы профилей НА: а - положительной кривизны; б - отрицательной кривизны; в – симметрична

Таблица 2- Влияние формы НА на формирование оптимального режима

Вариант	Q_{1onm}'	n_{1onm}'	α_{0onm}	Σh_{HA}	η_{GT}
а	152	60,24	11,85	3,88	92,2
б	146	60,13	11,16	3,45	92,8
в	147	60,2	11,31	3,16	93

В результате расчета были получены значения отдельных видов потерь в НА в проточной части (ПЧ) ГТ. НА с симметричным профилем имеет минимальные потери энергии в области оптимальных расходов, а с лопatkой отрицательной кривизны в области максимальных расходов [21]. Если планируется работа ГТ типа РО500 только на оптимальном режиме или при максимальном расходе на расчетном режиме, то целесообразнее вместо НА использовать сопловой аппарат [22]. Проектирование РК и построение прогнозной универсальной характеристики ПЧ ГТ (рис. 5) выполнялось при помощи комплекса прикладных программ, описание и блок-схема которого приведены в работах [10, 13, 14].

На рис. 6 приведены

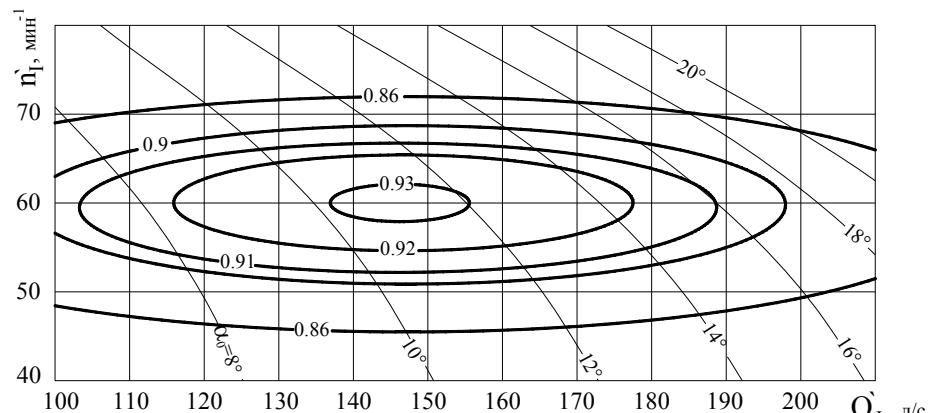


Рис. 5. Прогнозная универсальная характеристика ГТ типа РО500 с симметричным НА

зависимости отдельных видов потерь от приведенного расхода $\frac{\bar{h}_i}{H} = f\left(\frac{Q'_I}{Q'_{onm}}\right)$ при

$n'_{I onm} = const$ и от приведенных оборотов $\frac{\bar{h}_i}{H} = f\left(\frac{n'_I}{n'_{onm}}\right)$ при $Q'_{I onm} = const$ для РО ГТ РО500.

Анализ баланса потерь необходим для выяснения условий формирования оптимального режима и степени согласования элементов ПЧ.

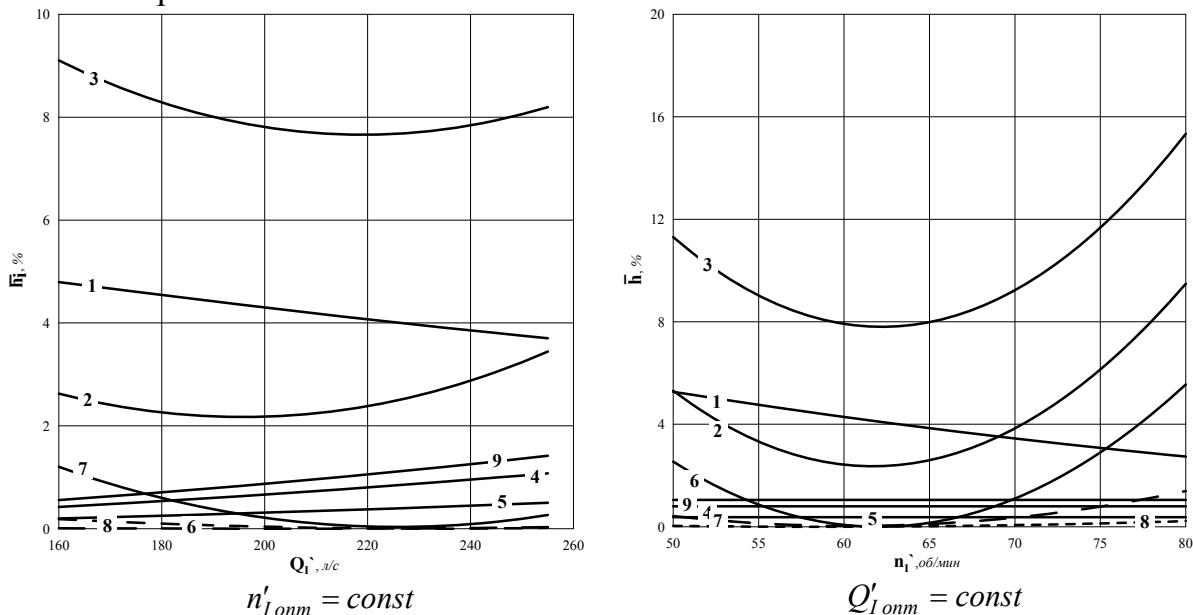


Рис. 6. Зависимость потерь в ПЧ: 1-суммарные потери в подводе, 2-суммарные потери в рабочем колесе и отсасывающей трубе, 3-суммарные потери во всей ПЧ, 4-потери трения в рабочем колесе, 5-кромочные потери, 6-ударные потери, 7-циркуляционные потери, 8-потери от осевого вихря, 9-потери трения в отсасывающей трубе

Приведенные расчетные данные позволяют сделать выводы о влиянии отдельных видов гидравлических потерь на параметры оптимального режима, а также о их влиянии на характер изменения КПД при удалении от оптимального

режима, т.е. о пологости кривых $\frac{\eta}{\eta_{max}} = f\left(\frac{Q'_I}{Q'_{onm}}\right)$ при $n'_{I onm} = const$ и $\frac{\bar{h}_i}{H} = f\left(\frac{n'_I}{n'_{onm}}\right)$

при $Q'_{I onm} = const$.

Заключение. Спроектирована ПЧ высоконапорной РО ГТ с высокими энергетическими показателями. РК типа РО500 для полученной ПЧ должно обеспечить повышение максимального КПД за счет более сбалансированного потока в нем как вдоль лопастей, так и по размаху лопасти и снижению вторичных течений в области РК. Проведено численное исследование влияния формы профилей лопатки НА на формирование параметров оптимального режима ГТ. Выполнено построение прогнозной универсальной характеристики ГТ.

Список литературы: 1. Launder B. E., Spalding D. B. The Numerical Computation of Turbulent Flows. //Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. – 1974. – Vol. 3. – P. 269-289.
2. Wilcox D. C. Turbulence Modeling for CFD // DCW Industries, Inc., 1993. – 460 c.
3. Ruprecht A. Unsteady Flow Simulation in Hydraulic Machinery. – 2002. – Vol. 6, no 1. – P. 187-

208. 4. *Thum Susanne*. Optimization of Hydraulic Machinery Bladings by Multilevel CFD Techniques // International Journal of Rotating Machinery. – 2005. – Vol. 2. – P. 161–167. **5.** Колычев В. А. О задании краевых условий в задаче осесимметричного движения жидкости в области рабочего колеса высоконапорной радиально-осевой гидротурбины / В. А. Колычев // Гидравлические машины, 1981. – Вып. 15. – С. 51-58. **6.** Барліт В. В. Анализ экспериментальных данных потока в проточной части тихоходной радиально-осевой гидротурбины / В. В. Барліт, В. К. Шеховцов [и др.] // «Гидравлические машины», 1986. – Вып. 20. – С. 53-59. **7.** Колычев В. А. Метод расчета энергетических характеристик радиально-осевых гидротурбин / В. А. Колычев, К. А. Миронов [и др.] // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2001. – Вип. 129. – Ч. 1. – С. 55–64. **8.** Потетенко О. В. Основные параметры и закономерности структуры потока в высоконапорных гидротурбинах РО 400-500 / О. В. Потетенко, Н. Г. Шевченко, Л. Р. Радченко, С. М. Ковалев, Ю. А. Подвойский // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 11. – С. 68-75. **9.** Потетенко. О. В. Анализ вихревой структуры потока в каналах радиально-осевой гидротурбины на напоры 400-500 м / О. В. Потетенко, Н. Г. Шевченко [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 12. – С. 45-55. **10.** Колычев В. А. Применение упрощенной модели рабочего процесса для расчета и анализа энергетических характеристик высоконапорной радиально-осевой гидротурбины / В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова [и др.] // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2004. – № 11. – С. 109–120. **11.** Миронов К. А. Улучшение энергетических показателей рабочих колес гидротурбины РО500 при помощи численного моделирования течения в проточной части / К. А. Миронов, В. В. Барліт [и др.] // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – № 12. – С. 41-48. **12.** Колычев В. А. Расчет и анализ баланса потерь энергии в высоконапорной радиально-осевой гидравлической турбине / В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова [и др.] // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2005. – № 1/2 (13). – С. 95–106. **13.** Колычев В. А. Общие закономерности рабочего процесса и их применение для расчета и анализа энергетических характеристик гидротурбин / В. А. Колычев, И. И. Тыньянова, К. А. Миронов // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 4/3 (22). - Харьков, 2006. – С. 54-64. **14.** Миронов К. А. Комплекс прикладных программ для проектирования и расчета радиально-осевых рабочих колес гидротурбин // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – № 17. – С. 18–25. **15.** Барліт В. В. Расчет и проектирование проточной части реактивных гидротурбин на основе численного моделирования рабочего процесса : учеб. пособие / В. В. Барліт, К. А. Миронов [и др.]. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – 216 с. **16.** Колычев В. А. Согласование элементов проточной части при проектировании радиально-осевых гидротурбин / В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова // Пробл. машиностроения, т. 12, № 5. – Харьков, 2009. – С. 3-8. **17.** Миронов К. А. Проектирование рабочих колес радиально-осевой высоконапорной гидротурбины на параметры ГЭС Каменг // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч. трудов. Тематический выпуск «Технологии в машиностроении». – Харьков: НТУ «ХПИ». – № 24. – 2010. – С. 69-76. **18.** Миронов К. А. Разработка радиально-осевых рабочих колес с высокими энергетическими показателями // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – № 66. – 2011. – С. 411-415. **19.** Раухман Б. С. Расчет обтекания пространственных решеток профилей гидротурбин с программированием на ЭЦВМ. РТМ 24.023.07. – Л. –1972. – 52 с. **20.** Барліт В. В. Расчет обтекания решеток профилей лопастных систем гидромашин: учеб.-метод. пособие / В. В. Барліт, В. В. Бородаевский, Л. К. Яковлева. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 56 с. **21.** Барліт В. В. Разработка и численное исследование подвода высоконапорной гидротурбины РО500 / В. В. Барліт, П. Н. Сухоребрый [и др.]. // Вестник НТУ «ХПИ», Вып.9. - т.2. - Харьков, 2003. – С. 33-40. **22.** Потетенко О. В. Тенденции продвижения горизонтальных прямоточных и радиально-осевых гидротурбин на высокие напоры с широким диапазоном эксплуатации / В. Э. Дранковский, Е. С. Крупа [и др.] / Вісник Сумського державного університету. – Суми, 2010. – №3. – С. 125–135 с.

УДК 621.224

Створення високоефективних проточних частин високонапірних радіально-осьових гідротурбін/ Миронов К. А., Тинянова І. І., Гулахмадов А. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №50(956). – С. 127-133

В роботі розглянуті питання підвищення енергетичних показників проточних частин високонапірних гідротурбін. Досліджувався вплив геометричних параметрів лопатевої системи робочого колеса та форми профілю лопатки направляючого апарату на формування енергокавітаційних якостей гідротурбіни. Іл.: 6. Бібліогр.: 22 назв.

Ключові слова: гідротурбіна, проточна частина, робоче колесо, направляючий апарат.

UDC 621.224

Highly effective flow space creation of high-head Francis turbines/ Mironov K. A., Tinyanova I. I., Gulakhmadov A. A. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 50(956). P. 127-133

In the paper discusses the issues of improving the effectiveness of flow space high-head Francis turbines. Influence of geometrical parameters of blade system runner and blade profile of the guide vane high-head Francis turbines on the formation of performance parameters was investigated. Im.: 6. Bibliogr.: 22.

Key words: hydroturbine, flow space, runner, guide vane.

Поступила в редакцію 21.09.2012

УДК 669.162.23:536.21

О. В. КОШЕЛЬНИК, канд. техн. наук, с.н.с., ІПМаш НАН України, Харків;

О. М. ЗАЄЦЬ, аспірант, НТУ «ХПІ», Харків;

В. М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ У ДИМОВОМУ ТРАКТІ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ

У статті розглянуто питання стосовно можливості утилізації теплоти димових газів, що відходять від доменних повітронагрівачів. На основі математичного моделювання теплових режимів регенератора визначено параметри теплоносіїв. Здійснено розрахунки та аналіз динаміки зміни температури і витрати відхідних газів по довжині димового тракту блоку доменних повітронагрівачів з урахуванням включення чотирьох апаратів у послідовному режимі. Іл.: 4. Бібліогр.: 13.

Ключові слова: Доменні повітронагрівачі; гази, що відходять; динамічні характеристики, теплоутилізатор

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді. Актуальною сучасною проблемою для України є раціональне використання енергоресурсів, що пов'язано з їх високою вартістю [1]. Особливо актуальним є пошук шляхів з економії паливно-енергетичних ресурсів в металургійному комплексі, зокрема у енергоємному доменному виробництві. Важливою проблемою є підвищення енергоефективності роботи доменних повітронагрівачів, які забезпечують високотемпературний нагрів дуття для доменних печей. Доменні повітронагрівачі є апаратами регенеративного типу, мають автономну систему опалення, що забезпечує нагрівання масивної вогнетривкої насадки до температур понад 1350°C. Підвищення коефіцієнта використання палива потребує реалізації заходів з утилізації теплоти димових газів,

© О. В. КОШЕЛЬНИК, О. М. ЗАЄЦЬ, В. М. КОШЕЛЬНИК, 2012

що виходять з насадки зі змінною температурою від 100 до 400°C.

Реалізація заходів з метою економії паливно-енергетичних ресурсів, дає можливість підвищити рівень температури нагрівання доменного дуття з меншою витратою палива та досягти економії коксу у доменному виробництві.

Виділення невирішеної частини загальної задачі. Одним із шляхів підвищення ефективності роботи доменних повітронагрівачів є утилізація теплоти газів, що відходять з регенераторів у процесі нагрівання вогнетривкої насадки. Складністю при розрахунках теплоутилізатора є визначення температури та витрати цих газів за регенераторами, оскільки з вони постійно змінюються у часі та по довжині димового тракту у результаті послідовного циклічного включення апаратів у режим нагрівання-охолодження насадки.

Формулюванні мети статті. Мета роботи полягає в аналізі послідовного режиму роботи доменних повітронагрівачів та розробці методики визначення динаміки зміни температури та витрати газів, що відходять з насадки регенераторів і змінюються по довжині димового тракту. Ці дані є необхідними для вибору та розрахунку теплоутилізатора димових газів за блоком доменних повітронагрівачів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

З метою економії сировинних ресурсів у доменному виробництві існує тенденція до підвищення температури гарячого дуття, яка може сягати до 1400°C [2-4]. Тому проблемою є удосконалення роботи повітронагрівачів з метою їх довготривалої та ефективної роботи. Для цього необхідно створити методику для визначення режимних та конструктивних параметрів, що базуються на дослідженнях складних процесів нестационарного теплообміну у доменних повітронагрівачах. На кафедрі Теплотехніки та енергоекспективних технологій НТУ «ХПІ» виконано ряд науково-дослідницьких робіт, що направлені на моделювання режимів роботи регенеративних теплообмінних апаратів плавильних та нагрівальних печей [5,6]. Підвищити ефективність роботи доменних повітронагрівачів можна також за рахунок оптимізації режимів роботи блоку із декількох повітронагрівачів [7,8]. На даний час існує реальна можливість підвищення ефективності роботи доменних повітронагрівачів за рахунок використання теплоти відходів газів [9].

Топкові системи та теплоутилізаційне обладнання складають окрему галузь теплоенергетичного обладнання. Розроблені різноманітні типи утилізаторів теплоти, що відрізняються рівнем температур попереднього підігріву повітря горіння [10]. Але вибір та розрахунки теплоутилізаторів за доменними повітронагрівачами необхідно виконувати з урахуванням циклічних нестационарних процесів та зміни параметрических характеристик теплоносіїв.

Викладення основного матеріалу. Доменні печі споживають значну кількість дуття, що може сягати від 2000 до 9000 м³/хв. Повітря подається повітродувками та нагрівається в повітронагрівачах регенеративного типу. Кожна доменна піч має блок із 3-4 повітронагрівачів.

Режим роботи повітронагрівачів визначається сукупністю температурних параметрів: витратою палива і розподілом його впродовж газового періоду, температурою купола і максимальною температурою диму в піднасадочному пристрої, яка сягає до 400°C, витратою повітря дуття, часовим режимом, тобто тривалістю газового і дуттєвого періодів, тривалістю періоду відокремлення апаратів, коли через насадку повітронагрівача не рухаються гази, а також режимом дуття [11].

Існує чотири режими дуття: послідовний, паралельний, попарно-паралельний і змішаний. Найпоширенішим режимом роботи повітронагрівачів у період дуття є послідовний (рис. 1), тобто коли повітронагрівачі по черзі, один за іншим, стають на дуття. Після постановки на дуття наступного повітронагрівача попередній автоматично знімається з режиму дуття. При цьому температура дуття утримується сталою за рахунок змішення з тою частиною холодного дуття, що обминає повітронагрівач.

Для підвищення ефективності нагрівання дуття необхідне збільшення теплової потужності повітронагрівачів, що визначається їх ККД і кількістю газу, що спалюється. У свою чергу ККД повітронагрівачів залежить від різниці температур продуктів горіння під куполом і на виході із насадки. Температура під куполом може бути підвищена при зменшенні коефіцієнта надлишку повітря горіння, завдяки чому зменшується віднесення тепла продуктами горіння, а також при підігріві газу або повітря горіння шляхом використання частини гарячого дуття.

Підвищення температури дуття може бути досягнуте також шляхом скорочення періоду нагрівання дуття. Це, однак, пов'язане з більше частими перекиданнями клапанів і збільшенням відносного часу їхнього перекидання, протягом якого доводиться припиняти нагрівання відповідного повітронагрівача. Нагрівання дуття можна збільшити також за допомогою підігріву холодного дуття, що додається до гарячого дуття через спеціальний клапан для стабілізації його температури. Цей спосіб еквівалентний збільшенню поверхні нагрівання повітронагрівачів.

Високоефективним заходом є реалізація попереднього підігріву повітря й газу згоряння для опалення повітронагрівачів за рахунок утилізації теплоти димових газів, що виходять з насадки регенератора. Це дозволить зменшити втрати теплоти з газами, що відходять, і знизити шкідливий вплив на атмосферу, а також заощадити витрати газового палива.

Температура газів, що йдуть з доменного повітронагрівача, змінюється у процесі нагрівання насадки в межах 150-500°C. У загальному газоході від чотирьох доменних повітронагрівачів коливання температури менше – вона становить у середньому 250-400°C [12].

Отже, як було зазначено вище, одним із шляхів підвищення ефективності роботи блоку доменних повітронагрівачів є утилізація теплоти газів, що відходять. А ключовим моментом в даному разі є визначення динаміки зміни характеристик цих газів. Складність розрахунків безпосередньо рекуператора-

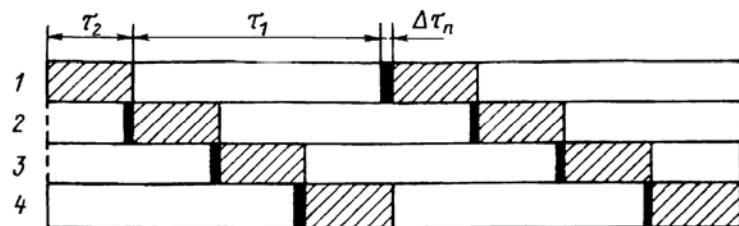


Рис. 1. Графік послідовного режиму роботи блоку із чотирьох регенеративних повітронагрівачів:
 τ_1 – тривалість газового періоду, год;
 τ_2 – тривалість періоду дуття, год;
 $\Delta\tau_n$ – час перекидання клапанів, год.

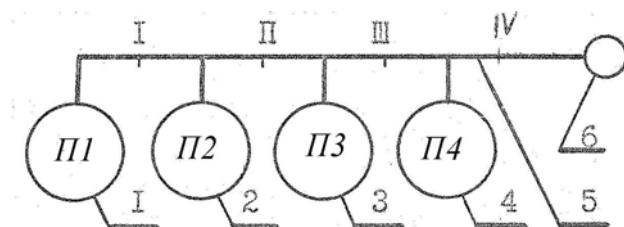


Рис. 2. Схема підключення повітронагрівачів до димового тракту: 1-4 – доменні повітронагрівачі; 5 – газовідвідний тракт; 6 – димова труба

теплоутилізатора виникає у процесі визначення температури газів, що відходять з пливом часу та вибору оптимального місця встановлення утилізуючого теплообмінника у димовому тракті. Схема підключення блоку доменних повітронагрівачів представлена на рис.2. На схемі газовідводного тракту указані перерізи, що розглядаються в якості місць для можливого встановлення теплоутилізатора.

Витрата димових газів у відповідних перерізах тракту розраховується як сума витрат всіх працюючих в заданий момент часу повітронагрівачів у режимі нагрівання насадки за формулою:

$$V_{cum,\tau} = \sum_{i=1}^{n-1} V_{i,\tau}. \quad (1)$$

Температуру газів можна визначити з урахуванням температур газових потоків від різних повітронагрівачів які змішуються по тракту без урахування зміни тиску за формулою:

$$T_{cum,\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} T_{i,\tau} V_{i,\tau}}{\sum_{i=1}^{i=n-1} V_{i,\tau}}. \quad (2)$$

Теплотехнічні розрахунки параметрів газу були проведені на основі даних математичного моделювання режимів роботи доменних повітронагрівачів у послідовному режимі з тривалістю періодів нагрівання – $\tau_1 = 2,9$ год, дуття –

$\tau_2 = 1$ год, перекидання клапанів – $\Delta\tau_n = 0,1$ год.

На рис. 3 показано характер зміни температури димових газів на виході із насадки регенераторів перед димовим трактом у послідовному режимі включення у процесах нагрівання вогнетривкої насадки.

Коливання температури одного повітронагрівача складає 289°C.

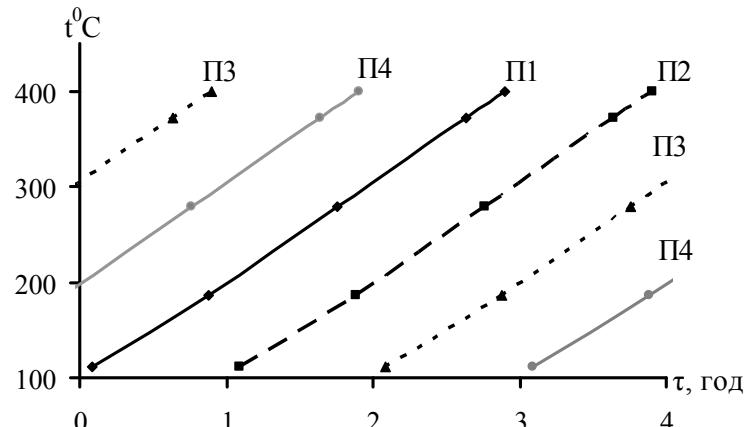


Рис. 3. Динаміка зміни температури димових газів на виході насадки регенераторів

На рис. 4 показано динаміку зміни витрати і температури димових газів відповідно у перерізах 3 та 4. Ці перерізи є найбільш привабливими з точки зору мінімізації коливань температури по димовому тракту для установки теплоутилізатора. Як видно із представлених даних, мають місце значні коливання витрати і температури газів після змішування газових потоків з відповідними температурами.

Для використання теплоти газів, що відходять з регенераторів, пропонується використати рекуперативні теплообмінники. Аналіз результатів розрахунків показав, що найбільш доцільним з точки зору зменшення коливання параметрів димових газів у димовому тракті є установка теплоутилізатора у перерізі IV, де ці коливання будуть найменшими.

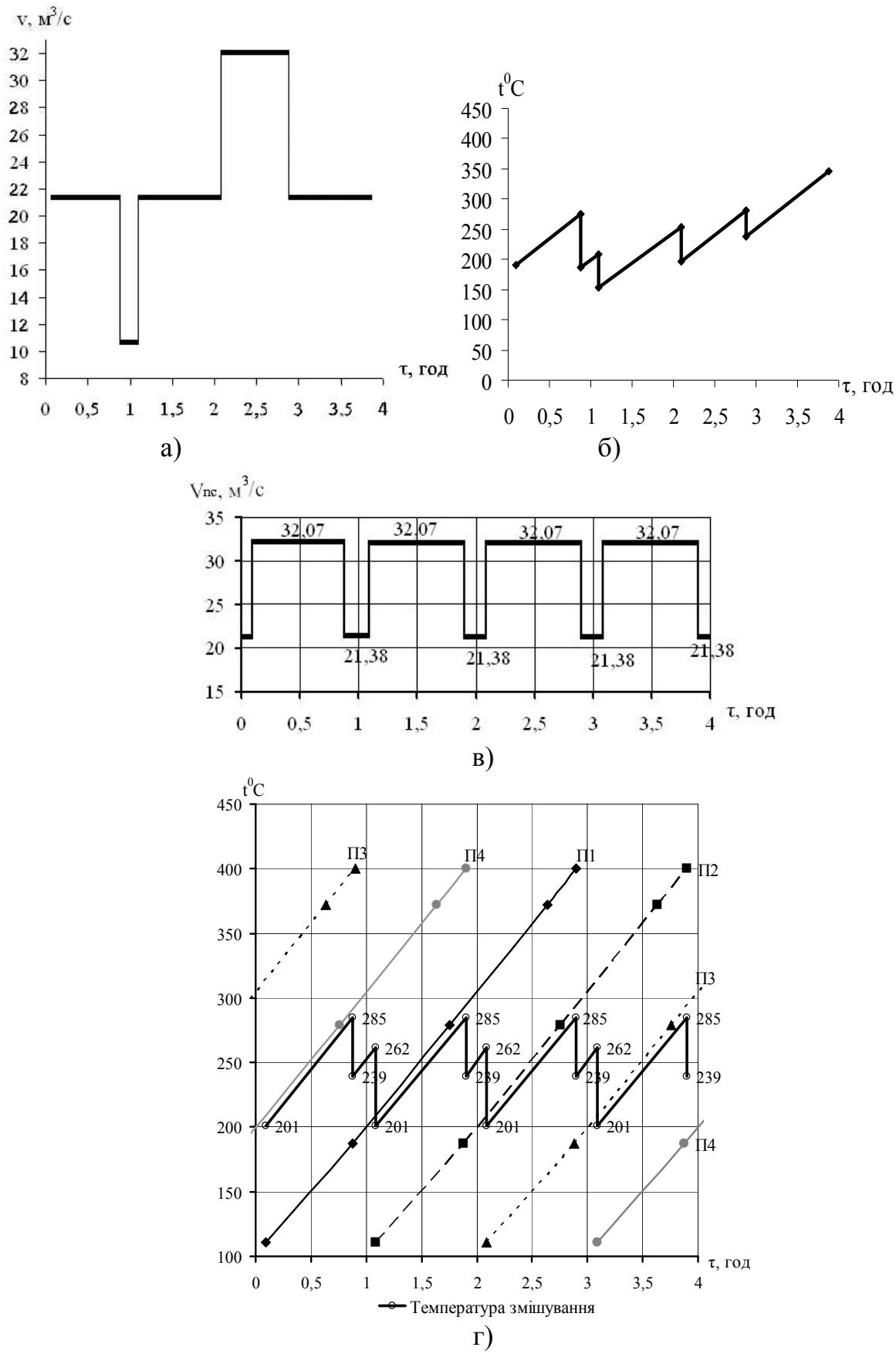


Рис. 4. Зміни витрати та температури димових газів за цикл в характерних перерізах димового тракту регенераторів

а) - витрата димових газів для III перерізу, б) - температура димових газів для III перерізу; в) - витрата димових газів для IV перерізу, г) – температура димових газів для IV перерізу

Попередні теплотехнічні розрахунки показали, що для заданих даних може бути використано двохсекційний рекуперативний апарат з площею теплообміну $F = 580 \text{ м}^2$ [13].

Висновок. Результати виконаних досліджень дозволили визначити динаміку зміни витрати і температури димових газів по довжині димового тракту блоку доменних повітронагрівачів регенеративного типу для послідовного режиму роботи. Ці дані є основою для теплотехнічних розрахунків рекуперативних теплоутилізаторів.

Список літератури : 1. BP Statistical Review of World Energy June 2011. – Режим доступу: http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf. 2. Гольдфарб Э. М. Закономерности прогрева насадки и пути повышения температуры доменного дутья / Э. М. Гольдфарб // Изв. Вузов – 1960. – № 3. – С. 148 – 156. 3. Работа доменной печи с нагревом дутья до $1200 - 1380^\circ\text{C}$ / А. А. Шокул, В. П. Лозовой и др. // Сталь. – 1978. – № 2. – С. 10 – 13. 4. Планка Б. Повышение температуры дутья в доменных печах/ Б. Планка // Сталь. – 1982. – № 4. – С. 14–19. 5. Кошельник В. М., Кошельник А. В. Уточненная математическая модель доменного воздухонагревателя. Вестник ХГПУ, Вып.49.-Харьков:ХГПУ, 1999, с.113 – 117. 6. Кошельник О. В. Особливості розрахунків процесів складного теплообміну в регенеративних теплообмінниках з нерухомою вогнетривкою насадкою нагрівальних і плавильних печей / О. В. Кошельник // Промышленная теплотехника. – Т. 30, № 3. – 2008.– С. 33 – 40. 7. Соломенецев С. Л. Упрощенный метод оптимизации режимов работы блока доменных воздухонагревателей / С. Л. Соломенецев, В. Д. Коршиков // Сталь. – 1985. – № 6. – С. 16 – 18. 8. Монкерн Х. Новая система оптимизации управления доменными воздухонагревателями / Х. Монкерн, М. Фосс и др. // Черные металлы. – 1994, окт. – С. 16 – 23. 9. Пальц Г. Использование тепла отходящих газов для нагрева дутья / Г. Пальц // Черные металлы. – 1984. – № 19. – С. 23 – 30. 10. Сорока Б. С. Системы сжигания и теплоутилизационные устройства технологических печей: Современное состояние и мировые тенденции развития / Б. С. Сорока // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012.– № 12. – С. 54 – 68. 11. Доменные воздухонагреватели (конструкция, теория, режимы работы) / Шкляр Ф. Р., Малкин В. М., Кастанова С. П. и др. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с. 12. Сазанов Б. В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учебн. пособие для вузов / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с. 13. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей ХХ міжнародної науково-практичної конференції. Ч. I (15-17 травня 2012 р. Харків) / за ред. проф. Товажнянського Л. Л. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 246.

УДК 669.162.23:536.21

Особенности определения расхода и температуры продуктов сгорания в дымовом тракте доменных воздухонагревателей/ Кошельник А. В., Заец Е. Н., Кошельник В. М./ Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – № 50(956). С.133-139.

Произведен расчет и выполнен анализ динамики изменения температуры и расхода отходящих газов по сечениям дымового тракта блока воздухонагревателей. В статье показана возможность использования теплоты отходящих газов доменных воздухонагревателей. Ил.: 4. Библиогр.: 13.

Ключевые слова: Доменные воздухонагреватели; отходящие газы; динамические характеристики, теплоутилизатор.

Determination features of flow rate and temperature of combustion products in the waste-gas pipeline of the hot blast stoves/ Koshelnik O. V., Zayets O. M., Koshelnik V. M. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU "Khpi". – 2012. – № 50(956). P.133-139

The calculation and analysis of temperature and flow rate of waste gas in sections of the block stoves pipeline were made. The paper shows the possibility of using heat of waste gas of blast stoves. Im.: 4. Bibliogr.: 13.

Key words: Hot blast stoves; waste gases; dynamic characteristics, heat exchanger.

Надійшло до редакції 21.09.2012

УДК 620.9(083)

O. В. РАДЧУК, канд. техн. наук, доц., СНАУ, Суми;

Л. Г. РОЖКОВА, канд. техн. наук, доц., СНАУ, Суми;

Д. Д. КАЗАКОВ, асистент, СНАУ, Суми

ШЛЯХИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОУСТАНОВОК, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, НА ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ТА УЗГОДЖЕННЯ ЇХ ВИХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЗІ СПОЖИВАЧЕМ

В статті проведений аналіз о доцільності використання на переробних підприємствах поновлюваних джерел енергії, зокрема, низькотемпературних теплових джерел і енергії вітру. При впровадженні теплових помп треба враховувати світовій досвід, зокрема, у виборі сучасних теплообмінних апаратів, компресорів та холодильних агентів. Що стосується вітроустановок, то доцільно впроваджувати ВУ з достатньо високим коефіцієнтом перетворення енергії вітру, працюючими і при низьких швидкостях вітру, маючими самозапуск, добре експлуатаційні властивості і невисоку ціну. Такими ВУ можуть бути вертикально осьові середньої швидкохідності. Іл.: 4. Бібліограф.: 11 назв.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, вітрова енергія, низько потенційна теплота, вторинні енергоресурси, теплові помпи, вітроустановки, коефіцієнт використання енергії вітру, узгодження, енергозбереження.

Вступ.

Необхідність енергозбереження в теперішній час актуальна для усіх галузей промисловості. Безумовно, це актуально і для переробних підприємств, тому що для переробки і зберігання сировини і готової продукції потрібно багато енергетичних ресурсів, особливо у вигляді теплової енергії. Одним з напрямів зберігання традиційних паливно-енергетичних ресурсів є використання альтернативних (поновлюваних у тому числі) джерел енергії. А враховуючи те, що у даному випадку зменшується екологічна небезпека, використання альтернативних джерел енергії стає ще більш доцільним. Таким чином, впровадження енергетичних установок що використовують вище названі джерела енергії на підприємствах харчової галузі може бути обґрутовані як економічно, так і з точки зору екології. Відомо, що до таких джерел відносяться безпосередньо сонячна енергія, енергія вітрових потоків, низькотемпературна теплова енергія різноманітних середовищ, як природних (земля, повітря, водоймища та ін.), так і штучних, тобто вторинних ресурсів (відпрацьована гаряча вода, каналізаційні стоки та ін.)

З точки зору специфіки харчової промисловості найбільш перспективними для

© O. В. РАДЧУК, Л. Г. РОЖКОВА, Д. Д. КАЗАКОВ, , 2012

використання на підприємствах галузі можуть бути низькотемпературні теплові джерела, енергія вітру та біомаси.

Ми зупинимося на можливостях використання в харчовій галузі низькотемпературної теплової енергії та енергії вітру.

Аналіз останніх досліджень та літератури.

Для використання низькотемпературної теплової енергії застосовуються так звані теплові помпи (далі ТП), тобто установки, що за допомогою механічної або електричної енергії перетворюють низькотемпературну теплову енергію в теплову енергію, яка має більш високу температуру.

Принципова схема конструкції ТП приведена на рис.1.

У загальному випадку кількість

теплоти, що одержує споживач від ТП, визначається за формулою:

$Q_{\text{спож.}} = Q_{\text{утил.}} \cdot \psi$, де $Q_{\text{утил.}}$ – кількість теплоти, що утилізується; ψ – коефіцієнт перетворення теплоти.

В світі за останній час суттєво збільшився обсяг виробництва, а також ринок ТП. Це викликано наступними причинами [1]:

1. Підвищення вимог до опалювального обладнання з точки зору енергозбереження та екологічної безпеки;
2. Стрибками цін на нафту і перебоями постачання природного газу;
3. У ряді країн введено пільгові законодавчі акти, що підтримують впровадження енергозберігаючого екологічно безпечного обладнання і використання альтернативних джерел енергії.

Слід відмітити, що європейський союз в 2008 році включив теплові помпи в перелік систем, які використовують поновлювані джерела енергії. Завдяки цьому, вже у 2008 було продано близько 1 млн. шт. теплових помп ATW. Першими виробниками даних ТП були фірми Японії (з 2001 р.), тому що мали велику підтримку уряду. В наш час теплові помпи ATW широко використовуються в країнах Європи, але європейські виробники розробили і власні ТП і мають свою частку світового ринку теплових помп. В основному ТП використовують для опалення та одержання гарячої води. Наприклад, у Швеції на 2007 рік працювало 250 тисяч теплових помп, що забезпечило 20% потреб теплової енергії і зменшило споживання нафтопродуктів на 1.2 млн. тон на рік [2].

В Україні задіяна незначна кількість теплових помп, хоча по даним [2] ресурси низькотемпературної теплової енергії прогнозується на рівні 23000МВт, як позитивний приклад можна навести впровадження теплових помп УАРК в готелі «Ялта» потужністю 1440кВт та пансіонаті «Дружба» потужністю 527кВт(м. Ялта) [3]. Джерела низькотемпературної теплоти у даному випадку наступні:

1. Теплова енергія морської води від відповідного водопостачання;
2. Теплова енергія від протоку морської води басейнів;
3. Теплова енергія від кондиціювання приміщень;
4. Теплова енергія від холодильних установок.

Згідно з [3] економія палива за рахунок впровадження ТП у готелі «Ялта» і пансіонаті «Дружба» у сумі дорівнює 4200 т. у. п. на рік.

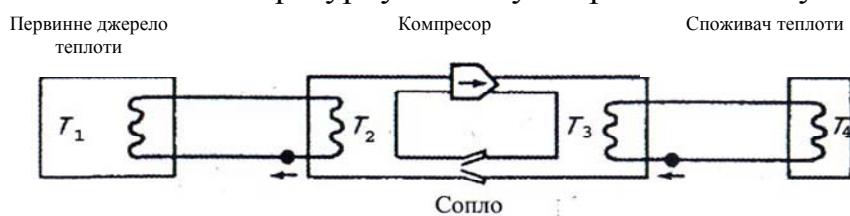


Рис. 1. Принципова схема конструкцій ТП

Зараз одним із відомих виробників ТП в Україні є завод холодильного машинобудування «Рефма», м.Мелітополь. Він виготовляє ТП потужністю до 100 кВт для побутових потреб.

Що до використання енергії вітрових потоків, то в ряді розвинутих країн світу спостерігається бум у спорудженні вітроелектростанцій. Згідно з [4] загальна потужність вітроелектростанцій (далі ВЕС) у 2006 дорівнювала 74221 МВт, а в 2009 - вже 159213МВт [5], товарообіг світового ринку вітроенергетики в 2009 році склав 50 млрд. євро, кількість робочих місць дорівнює 550 тисяч, а в 2012 році очікується 1млн. робочих місць. На рис. 2 показана прогнозуємая динаміка розвитку вітроенергетики до 2020 року [5].

В Україні потужність ВЕС в 2009 році дорівнювала 90 МВт [5].

Слід відмітити, що ВЕС, які споруджені в Україні, в основному мають велику потужність і не завжди рентабельні, тому що деякі з них були запроектовані в США у 70-х роках минулого століття для середньої швидкості вітру 10 -14 м / с, а в Україні середня швидкість вітрових потоків не перевищує 6,2 м/с [4]. Але за останні роки в Україні розробляються вітроустановки малої потужності (до 20 кВт або можливо до 50 кВт). Як показав досвід, набутий при впровадженні вітроустановок (далі ВУ) малої потужності, вони можуть бути в Україні найбільш перспективними. Мала вітроенергетика залежно від потужності може мати наступних споживачів [4]:

1. 0,020-0,024кВт- забезпечення локального резервного освітлення .
2. 0,060-0,075кВт- використання на яхтах
3. 0,20-0,24кВт- приміські дачники
4. 0,60 - 0,75кВт- середньостатистична українська сім'я
5. 2,0-2,4кВт- малосімейні сільськогосподарські приватні підприємства
6. 6,0-7,5кВт- невеликі фермерські господарства
7. 20кВт - малі села, хутори, середні та великі фермерські господарства

Таким чином, мала вітроенергетика може бути доволі корисною в напрямку децентралізації і можливості енергопостачання споживача, як фізичної особи, так і юридичної , тобто підприємства. В наш час в Україні є ряд виробників малих вітроустановок , зокрема, відомі такі фірми як НВФ «Єнергодар», ПП «Світ вітру»(м. Харків); НТЦ «Альтекс»(м Київ), «ЕКО», ДКБ «Південне»(м Дніпропетровськ). Дані підприємства виробляють ВУ переважно з горизонтально-осьовим робочим колесом.

Мета досліджень, постанова проблеми.

Мета даної статті - аналіз та обґрунтування шляхів впровадження на переробних підприємствах харчової галузі енергоустановок, що використовують альтернативні джерела енергії, зокрема, теплових помп та вітроустановок, і розгляд узгодження їх вихідної потужності зі споживачем.

Матеріали досліджень.

Як вже було вище вказано, підприємства харчової промисловості споживають значну кількість паливно-енергетичних ресурсів: теплоти, електричної енергії, холоду т. і. При цьому виборчі процеси супроводжуються відходами енергії у вигляді теплоти, що називаються вторинними тепловими ресурсами. До них відносяться:

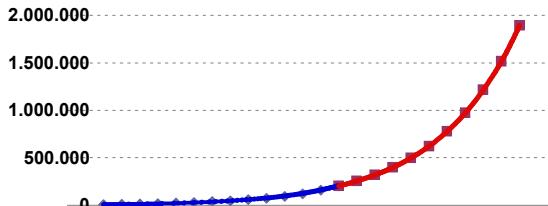


Рис. 2. Прогноз розвитку світової вітроенергетики до 2020 року в МВт (данні наведено з 1997 року)

1. Вторинна пароконденсатна суміш гріючої водяної пари, яка була вже використана у теплообмінних апаратах;
2. Відпрацьована пароповітряна суміш із термічних камер теплової обробки продукції;
3. Відпрацьоване повітря із сушильних установок;
4. Відхідні димові гази котельних установок та технологічних печей;
5. Відхідна гаряча вода;
6. Фізична теплота продукції;
7. Теплота конденсації холодного агенту у холодильних машинах.

Якщо вторинні теплові ресурси мають доволі високу температуру ($>50^{\circ}\text{C}$), то їх використовують безпосередньо, наприклад, для побутових потреб. Але низькотемпературні теплові джерела доцільно перетворювати з метою одержання більш високих температур. Кількість теплової енергії залежить від кількості і параметрів теплоносія. Прикладом такого джерела є теплота холодильного агента в холодильній машині. Температура у даному випадку для умов України (клімат і опалення) не перевищує 40°C .

Будь-яке підприємство галузі обов'язково має холодильну установку, тому практично на всіх можливо і доцільно впроваджувати теплові помпи. Найбільш у даному випадку доцільна категорія теплових помп «повітря-повітря» і «повітря-вода». Схема холодильної машини і теплової помпи наведена на рис.3, при цьому Q_1 - теплота, що утилізується ТП, Q_2 – теплота, що передається споживачу.

Відомо що теплота конденсації холодильного

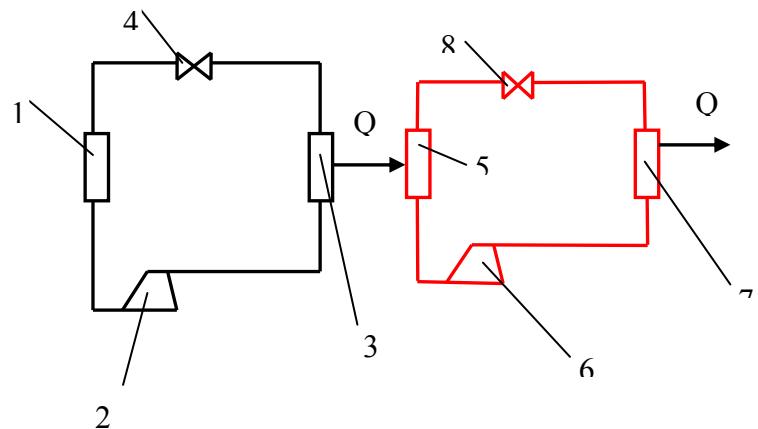


Рис 3. Принципова схема установки «Холодильна машина – теплова помпа»: 1, 2, 3, 4- відповідно випарник, компресор, конденсатор, дросельний вентиль холодильної машини; 5, 6, 7, 8 - відповідно випарник, компресор, конденсатор, дросельний вентиль теплової помпи

агенту в загальному випадку дорівнює сумі теплоти, що відібрана в холодильній камері і енергії, яку споживає компресор.

$$Q_{\text{конд.}} = Q_0 + L_{\text{к.х.м.}}$$

де Q_0 кількість теплоти, відібраної у холодильній камері,

$L_{\text{к.х.м.}}$ - робота компресора, яка еквівалентна спожитій електричній енергії холодильної машини.

Якщо врахувати втрати теплової енергії, то теплота, одержана від теплової помпи, дорівнює

$$Q_{\text{т.п.}} = \varphi Q_{\text{конд.}} \psi,$$

де φ – коефіцієнт втрат теплоти;

ψ – коефіцієнт перетворення теплоти ТП.

$$\psi = Q_{\text{т.п.}} / L_{\text{к.т.п.}},$$

де $L_{\text{к.т.п.}}$ – робота компресора теплової помпи.

ψ (або СОР у міжнародному визначенні) визначає ефективність роботи теплової помпи. В залежності від умов роботи він може бути досить високим, наприклад,

досягати 5. Зокрема, ефективність роботи теплової помпи залежить від двох температур: по-перше, від температури джерела теплової енергії - чим вище температура, тим більш сприятливі умови роботи; по друге, від температури, необхідної споживачу: чим нижче потрібна температура, тим вище буде ефективність ТП.

Другим напрямом на переробних підприємствах є використання теплоти відпрацьованої води, повітря, димових газів та ін. (тобто вторинних теплових ресурсів). Теплота вторинних теплових ресурсів у загальному випадку дорівнює:

$$Q_{\text{в.р.}} = M_{\text{ен.}} \Delta h \tau,$$

де - $M_{\text{ен.}}$ - кількість джерела теплоти, кг/год або $\text{m}^3/\text{год}$;

Δh – перепад ентальпії, кДж/год;

τ - час роботи, год.

Порядок розрахунку теплоти, що перетворюють ТП при використанні вторинних теплових ресурсів, аналогічний наведеному вище.

Слід відмітити, що для ефективної роботи ТП велике значення мають холодаагенти, тому що температури їх випаровування і конденсації обумовлюють тиск , який повинен бути у випарнику та конденсаторі, і тому завдають параметри роботи компресору. До теперішнього часу переважно використовувались холодаагенти R-12 і R-22. Але в зв'язку з тим, що вони можуть стати дефіцитними і, крім того, цей клас холодаагентів є озоноруйнуючим, у країнах Європи прийнято рішення з переходу на альтернативні озонобезпечні холодаагенти [6]. Таким вимогам відповідають, наприклад, аміак, двоокис вуглецю (CO_2), бутан та деякі інші речовини [7,8]. Досвід показав, що аміак є неперевершеним з точки зору енергетичної ефективності в промислових системах холодильних машин та теплових помп потужністю вище 500кВт. Також показали досить високу енергоефективність ТП на двоокису вуглецю і на суміші аміаку і диметилового спирту.

Узгодження потужності ТП зі споживачем полягає у тепловому розрахунку споживаючого обладнання, тобто кількості теплоти при потрібних параметрах теплового режиму, що і визначить необхідні характеристики ТП.

Що стосується вітроустановок (далі ВУ), то їх використання на підприємствах харчової галузі, на наш погляд, також є доцільним. По-перше, вітер як джерело енергії є безкоштовним і невичерпним, до того ж, як вже було вказано вище, може використовуватись децентралізовано. В сучасних умовах це важливо, тому що спостерігається поява все більшого числа середніх та малих харчових підприємств, які досить часто розташовані у місцевості, де потрібно автономне джерело енергії. В Україні виготовляються ВУ переважно традиційного горизонтально-осьового типу, швидкохідні та тихохідні [4]. Перші мають при високому коефіцієнті використання енергії вітру деякі недоліки: важкий початковий запуск, тому що обертаючий момент зрушення вітроколеса зі стану спокою дуже малий; потребують доволі високої швидкості вітру, крім того, спостерігається підвищений шум при великих швидкостях вітру. Тихохідні мають великий обертаючий момент, можуть працювати при швидкості вітру від 2м/с, але їх ККД нижчий ніж у швидкохідних . Відомі вертикально – осьові ВУ (ротор Дар’є, ротор Савоніуса) мають такі ж недоліки.

На наш погляд, на підприємствах харчової промисловості доцільно впровадження нового типу вертикально-осьового ВУ з середньою швидкохідністю [9]. Дані ВУ характеризуються наявністю самозапуску, можливістю роботи при низькій швидкості (від 2 м/с) і будь - якого напряму вітру. Діючий демонстраційний макет такої ВУ посвідчив наявність самозапуску, роботу у широкому діапазоні

швидкості вітру і показав відсутність шуму і обледеніння. До того ж, найбільш важливе, що дані ВУ мають досить високий коефіцієнт використання енергії вітру (рис. 4.).

Крім того, середня швидкохідність обумовлює зниження вимог до міцності та надійності конструкції ВУ по зрівнянню зі швидкохідними, а вертикальне розташування валу поліпшує експлуатаційні характеристики ВУ, спрощує одержання не тільки електричної, але теплової і механічної енергії, що є важливим в умовах підприємств. Узгодження

потужності і характеристик ВУ зі споживачем має деякі особливості, що обумовлюється нестабільністю характеристик вітру. Якщо ротор ВУ безпосередньо з'єднується з обладнанням, треба забезпечувати відповідність не тільки потужності ВУ та обладнання, але і обертаючого моменту і швидкості обертання. Маючи залежність потужності ротору ВУ від швидкохідності, можна завжди визначити ці параметри за відомою формулою:

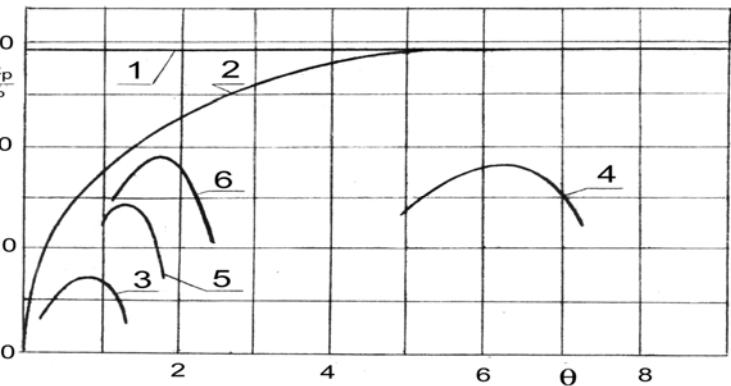


Рис.4. Залежність коефіцієнта використання енергії вітру C_p від швидкохідності Θ : 1 - критерій Бетца; 2 - ідеальне вітролесо; 3,4 - відповідно вертикально осьові ВУ: тихохідний ротор Савоніуса та швидкохідний ротор Дарьє; 5,6 - відповідно вертикально – осьові Вітроустановки середньої швидкохідності з лопатями КН і двохелементними

залежність потужності ротору ВУ від швидкохідності, можна завжди визначити ці параметри за відомою формулою:

$$P_{\text{рот.}} = M_{\text{об.}} \cdot \omega,$$

де $P_{\text{рот.}}$ – потужність ротора ВУ;

$M_{\text{об.}}$ - обертаючий момент на валу ротора;

ω – кутова швидкість обертання ротора.

Таким чином, відповідні характеристики обладнання, що споживає енергію, обумовлюють вибір ВУ з забезпеченням роботи ротора в області характеристики, де коефіцієнт використання енергії вітру є максимальним або величина його зниження є допустимою. Зрозуміло, що при зміні швидкості вітру змінюються і параметри роботи ВУ. Тому в роботі споживача можуть бути паузи, що іноді вкрай неприпустимо. Тому доцільне впровадження акумулюючих пристрій. Якщо зосередитись на одержанні теплової енергії, то доцільне використання теплоакумулюючих установок. В останній час у розробці акумуляторів теплової енергії спостерігається зрост активності. Наприклад, пропонуються адсорбційні термотрансформатори, де теплова енергія акумулюється у вигляді термохімічного потенціалу сорбенту і може зберігатися тривалий час практично без втрат[10]. Автори підкреслюють, що вищезазначені теплоакумулятори є ефективним інструментом енергозбереження, який сприяє залученню в енергообіг поновлювані джерела енергії.

З точки зору універсальності найбільш прийнятні для впровадження електричні акумулятори (батареї). Характеристики сучасних електричних батарей наведено у табл. (по даним [11]).

Таблиця - Характеристики деяких батарей (Jensen i Sorensen, 1984; Cultu, 1989a; Scrosati, 1995; Buchman, 1998) та порівняння їх з метою, яку встановили в 1977 році (Weiner, 1977)

Батареї	Електроліт	ККД, %	Щільність енергії	Пікова питома потужність (Вт/кг)	Постійне питоме навантаження (Вт/кг)	Термін експлуатації (кількість циклів)	Робочі температури, °C
Промислові:							
Свинцово-кислотні	H ₂ SO ₄	75	20-35	120	25	200-2000	від —20 до 60
Нікель - кадмієві	KOH	60	40-60	300	140	500-2000	від —40 до 60
Нікель – метал гибридні	KOH	50	60-80	440	220	<3000	від 10 до 50
Літій - іонні	LiPF ₆	70	100-200	720	360	500-2000	від -20 до 60
Які розробляються							
Натрій-сірні	Ь-Al ₂ O ₃	70	120	240	120	2000	от 300 до 400
Літій-сульфідні	A1N	75	130	200	140	200	от 430 до 500
Цинк- хлорні	ZnCl ₂	65	120	100			0
Літій-полімерні	Li-b-Alu	70	200			>1200	от —20 до 60
Цільові елементи 1977 року:							
Високо-енергетичні		65	265		55-100	2500	
Високо-потужні		70	60	280	140	1000	

Висновки

Проведений аналіз свідчить о доцільноті використання на переробних підприємствах поновлюваних джерел енергії, зокрема, низькотемпературних теплових джерел і енергії вітру. При впровадженні теплових помп треба враховувати світовій досвід, зокрема, у виборі сучасних теплообмінних апаратів, компресорів та холодильних агентів. Що стосується вітроустановок, то доцільно впроваджувати ВУ з достатньо високим коефіцієнтом перетворення енергії вітру, працюючими і при низьких швидкостях вітру, маючими самозапуск, добре експлуатаційні властивості і невисоку ціну. Такими ВУ можуть бути вертикально осьові середньої швидкохідності. Нестабільність енергії вітру ускладнює узгодження характеристик ВУ і споживаючого обладнання при безпосередньому підключені. Тому доцільне впровадження сучасних теплоакумулюючих і електроакумулюючих пристройів.

Список літератури: 1. Мировой рынок тепловых насосов «воздух-вода» // Холодильная техника – 2010 - №2. 2. Щербина О. Енергія для всіх.: Технічний довідник з енергоощадності та відновлювальних джерел енергії. Видання четверте/ О. Щербина. –Ужгород.: Видавництво Валерія Падяка -2007. 3. Лежнева Л. И. Теплонасосы: Крымские перспективы / Л. И. Лежнева //Энергосбережение.- 2010 - №9. 4. Оніпко О. Ф. Вітроенергетика та енергетична стратегія./ О. Ф. Оніпко, Б. П. Коробко, В. М. Миханюк -Київ.: Фенікс, 2008. 5. Отчет Всемирной ассоциации по использованию ветровой энергии за .2009. 6. Переход с R22 на альтернативные хладоагенты – актуальное,простое и экономически эффективное решение. // Холодильная техника.,2010-№6. 7. Моника Витт Природные хладоагенты состояние вопроса и тенденции./ Витт Моника //Холодильная техника - 2010-№10. 8. Доктор Карин Ян. Экологически безопасные тепловые насосы. / Карин Ян// Холодильная техника -2010-№4. 9. Рожкова Л. Г. Нові форми профілів лопатей вертикально –осьових вітроустановок середньої швидкохідності.: автореф. дис. канд.

техн. наук.: Рожкова Людмила Георгіївна. – Суми, 2004 – 21с. 10. Корінчевська Т. В., Снежкін Ю. В., Чалаєв Д. М., Шаврін В. С., Дабіжса Н. О. Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України. 2009.: Матеріали з Інтернету. 11. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии : Учебно –справочное руководство /Б. Соренсен – М., Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011.-296с.

УДК 620.9(083)

Пути внедрения энергоустановок которые используют альтернативные источники энергии на перерабатывающих предприятиях и согласование их вырабатываемой мощности с потребителем/ Рожкова Л. Г., Радчук О. В., Казаков Д. Д./ Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ».- 2012.- 50(956). С.139-146

В статье проведен анализ о целесообразности использования на перерабатывающих предприятиях возобновляемых источников энергии, в том числе, низкотемпературных тепловых источников энергии ветра. При внедрении тепловых помп необходимо учитывать мировой опыт, в том числе, при выборе современных теплообменных аппаратов, компрессоров и холодильных агентов. Что касается ветроустановок, то рационально внедрять ветровые установки с достаточно высоким коэффициентом преобразования энергии ветра, которые работают и при низких скоростях ветра, имеют самозапуск, удобные в эксплуатации и недорогие. Такими ветровыми установками могут быть вертикально - осевые средней быстроходности. Ил.: 4. Библиограф.: 11 назв.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, ветровая энергия, низко потенциальная теплота, вторичные энергоресурсы, тепловые насосы, ветроустановки, коэффициент использования энергии ветра, согласование мощности, энергосбережение.

UDC 620.9(083)

Way of introduction energoustanovok that use alternative sources energii in processing plants and harmonization of their power output with the consumer/Rozhkova L. G., Radchuk O. V., Kazakov D. D./ Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicionns of modern technologies.- Kharkov: NTU “KhPI”.- 2012.-№ 50(956). P.139-146

In article is take the analysis of use expediency at the processing enterprises of renewed energy sources, including low-temperature thermal wind energy sources. At introduction thermal pump it is necessary to consider global experience, including, at a choice modern heat exchange devices, compressors and refrigerating agents. As to wind driver generator, it is rational to introduce windfarm with high enough of wind power transformation factor, which work and at low speeds of a wind, have the self-start, convenient in operation and inexpensive. Such wind driver generator can be vertically - axial average rapidity windfarm. Im.: 4, Bibliogr.: 11.

Keywords: alternative energy sources, wind energy, low potential heat, waste energy, heat pumps, wind turbines, wind energy utilization, coordination capacity, energy saving.

Надійшла до редакції 10.10.2012

УДК 615.47

Е. И. СОКОЛ, чл.-корр. НАНУ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков;
А. В. КИПЕНСКИЙ, д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков;
Р. С. ТОМАШЕВСКИЙ, ассистент, НТУ «ХПИ», Харьков

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГРАММНОЙ КОРРЕКЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТУРБИННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОТОКА В СПИРОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

В статье с целью снижения инструментальной погрешности предложены и описаны методы математической коррекции результатов измерений, полученных с помощью турбинного

© Е. И. СОКОЛ, А. В. КИПЕНСКИЙ, Р. С. ТОМАШЕВСКИЙ, 2012

преобразователя потока. Проведен анализ частотных свойств такого преобразователя и определено влияние на результаты преобразования предложенных методов. На основании анализа были сделаны выводы о специфике предложенных методов и показана целесообразность использования каждого из них в спирометрической аппаратуре. Ил.: 5. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: спирометр, турбинный преобразователь потока, инструментальная погрешность, методы коррекции, динамическая компенсация ошибки.

Введение. Среди огромной номенклатуры технических средств исследования функций внешнего дыхания особое место занимают портативные спирометры. Такие приборы не требуют дополнительного оборудования в кабинетах функциональной диагностики, позволяют проводить скрининговые обследования населения вне медицинского учреждения и удобны в эксплуатации [1]. С учетом современных тенденций развития сектора домашней медицины в системе здравоохранения, задача повышения качества портативных спирометров является весьма актуальной.

Наиболее часто в портативной спирометрической аппаратуре в качестве датчика используется турбинный преобразователь потока (ТПП), поскольку он имеет ряд неоспоримых достоинств: хорошие массогабаритные показатели, низкое пневматическое сопротивление, устойчивость к санитарной обработке [2]. Однако согласно требованиям ведущих пульмонологических организаций спирометр должен обладать высокой чувствительностью и хорошими частотными свойствами [3]. В работах [4, 5] были предложены конструктивные способы улучшения этих параметров в измерительном канале спирометра с ТПП. Эти способы, в первую очередь, основаны на увеличении количества n информационных импульсов за один оборот ротора турбины. Информационным параметром при этом будет период следования импульсов $T = 1/f \cdot n$, где f – частота вращения ротора.

Постановка задачи исследований. Влияние технологического разброса параметров ТПП при изготовлении и износа его элементов в процессе эксплуатации может вносить в результаты измерений текущего значения частоты f вращения ротора существенную погрешность, которую принято называть инструментальной. Это в свою очередь повысит погрешность определения скорости потока q . В работе [6] было показано, что при отклонении размеров элементов ТПП и их взаимного расположения, относительно расчетных, на 5 % погрешность измерения текущего значения частоты f может достигать 20 % при неизменном значении погрешности определения ее среднего значения.

Для коррекции результатов измерений ТПП был предложен ряд программно-математических методов обработки: метод скользящего среднего (МСС), метод предварительной калибровки (МПК) и метод динамической компенсации ошибки (МДКО) [7].

Суть первого метода состоит в определении периода следования импульсов T , как среднего арифметического на интервале равном одному обороту ротора:

$$T_{MCC} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T'_j, \quad (1)$$

где T' – измеренное значение периода следования информационных импульсов.

Второй метод основан на коррекции результатов измерения с помощью поправочных коэффициентов g , которые определяются на этапе производственной калибровки:

$$T_{MPK} = T' \cdot g . \quad (2)$$

Третий метод (МДКО) представляет собой некоторую модификацию МПК. Здесь коррекция производится также путем умножения T' на соответствующие поправочные коэффициенты, однако они определяются не на этапе производственной калибровки, а в процессе эксплуатации спирометра. При этом вычисление коэффициентов производится на участках входного сигнала близких к линейным, а для устранения случайной погрешности используются цифровой фильтр 1-ого порядка с бесконечной импульсной характеристикой и медианный фильтр [7].

Цель данных исследований состоит в анализе предложенных методов коррекции, проводимом путем сопоставления их частотных свойств и точности преобразования, то есть с учетом критериев и требований ведущих пульмонологических организаций. Ввиду технической сложности проведения натурных экспериментов, исследования проводились на математической модели ТПП.

Математическая модель ТПП. ТПП представляет собой последовательное соединение нескольких измерительных преобразователей: измерительная турбина, тахометрическое устройство, преобразователь электрического сигнала. Для создания адекватной математической модели и проведения экспериментов необходим анализ процессов, происходящих в ТПП на этапе преобразования частоты вращения ротора в электрический сигнал. В данной работе исследуется модель ТПП с двухлепестковым ротором и двумя оптическими парами с инфракрасными (ИК) излучающими диодами и фотоприемниками (рис. 1). Это позволяет за один оборот ротора формировать 8 информационных импульсов.

Детально процессы преобразования в ТПП с такой конструкцией были описаны в работе [6], а временные диаграммы приведены на рис. 2. Процесс движения лепестков ротора относительно оптических пар может быть описан системой уравнений:

$$\begin{cases} x_1(t) = r_2 \cdot \sin \alpha(t); \\ x_2(t) = r_1 \cdot \sin [\alpha(t) + \pi]; \\ x'_1(t) = r_2 \cdot \sin [\alpha(t) + \gamma]; \\ x'_2(t) = r_1 \cdot \sin [\alpha(t) + \pi + \gamma], \end{cases} \quad (3)$$

где $x_1(t)$ и $x_2(t)$ – функции движения лепестков (длиной r_1 и r_2) ротора относительно первой оптической пары; $x'_1(t)$ и $x'_2(t)$ – функции движения лепестков ротора относительно второй оптической пары, которая смешена относительно первой на угол γ ; $\alpha(t)$ – угол поворота ротора.

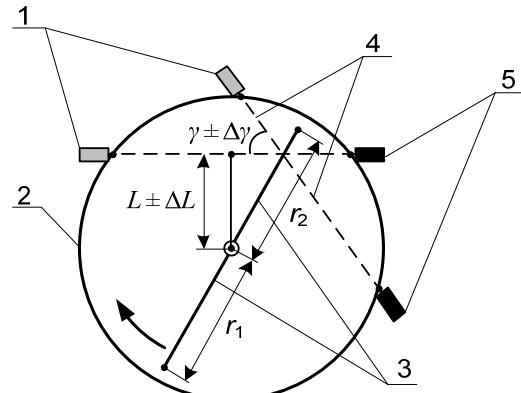


Рис. 1. Конструкция ТПП: 1 – излучающие диоды; 2 – прозрачный корпус измерительной турбины; 3 – лепестки ротора; 4 – траектории ИК-лучей; 5 – фотоприемники

Как видно из рис. 2 электрические импульсы *и_{вых}* на выходе устройства формируются в момент пересечения одной из функций $x(t)$ луча ИК-излучения, находящегося на расстоянии L от центра турбины. То есть, подставив L в левую часть системы уравнений (3) и

решив ее, возможно определить моменты времени формирования электрических импульсов на выходе тахометрического устройства.

Для учета влияния технологического разброса с систему уравнений были введены дополнительные переменные: Δr – разница между длинами лепестков ротора r_1 и r_2 , ΔL – отклонение расстояния ИК-луча от центра турбины, $\Delta \gamma$ – отклонение угла смещения между осями оптических пар (рис. 1). Каждое из перечисленных отклонений может достигать 0,025 от расчетных значений.

С учетом вышесказанного система уравнений (3) приобретает вид:

$$\begin{cases} L(1 \pm \Delta L) = r(1 \pm \Delta r) \cdot \sin \alpha(t); \\ L(1 \pm \Delta L) = r \cdot \sin[\alpha(t) + \pi]; \\ L(1 \pm \Delta L) = r \cdot \sin[\alpha(t) + \gamma(1 \pm \Delta \gamma)]; \\ L(1 \pm \Delta L) = r(1 \pm \Delta r) \cdot \sin[\alpha(t) + \pi + \gamma(1 \pm \Delta \gamma)]. \end{cases} \quad (4)$$

В процессе моделирования была упрощена функция преобразования измерительной турбины, в частности, не учитывалось влияние параметров воздуха и режимов его протекания. В данных исследованиях эта функция описывается линейной зависимостью вида:

$$q(t) = a + \frac{\omega(t)}{\varphi}, \quad (5)$$

где $q(t)$ – объемная скорость воздуха; φ – передаточный коэффициент измерительной турбины; $\omega(t)$ – угловая скорость ротора; a – постоянная смещения.

При этом выражение для определения угловой скорости ротора турбины может быть представлено в виде:

$$\omega(t) = 2\pi \cdot \frac{d\alpha(t)}{dt}. \quad (6)$$

В процессе проведения исследований изменения расхода воздуха задавали в диапазоне от 0,1 до 14 л/с, который соответствует большинству спирометров. Коэффициенты φ и a принимали равными 229,3 и 0,0092, исходя из результатов экспериментальных исследований измерительной спирометрической турбины фирмы MIR (Италия). Длина лепестков ротора в такой турбине равна 12 мм. С учетом предложенной конструкции тахометрического устройства [5], расстояние L составило

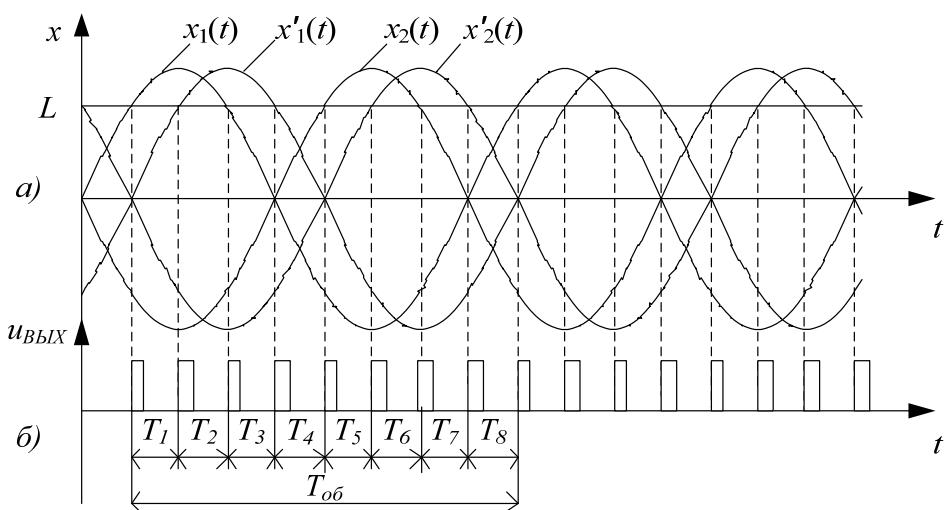


Рис. 2. Временные диаграммы процесса преобразований в ТПП

8,49 мм, а угол γ между осями оптических пар – $\pi/4$. При этом максимальная частота вращения ротора будет достигать 511 Гц.

Исследование частотных свойств ТПП с различными методами коррекции.

Оценка частотных свойств ТПП производилась на основании анализа его амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) при использовании различных методов коррекции результатов измерений. Для определения АЧХ на вход математической модели подавался расход, изменяющийся по гармоническому закону с некоторой постоянной составляющей, который описывается выражением

$$q(t) = Q_0 + Q_m \sin \Omega t, \quad (7)$$

где Q_0 – постоянная составляющая, Q_m – амплитуда гармонического сигнала, Ω – частота колебаний гармонического сигнала (расхода).

Наличие постоянной составляющей необходимо для исключения возможности остановки ротора, связанной с изменением направления вращения.

Так как частота вращения ротора ТПП зависит от расхода, то и АЧХ преобразователя будет зависеть от него. При постановке эксперимента соблюдалось условие $Q_0 = 2Q_m$. По результатам исследования частотных свойств были построены АЧХ ТПП при использовании рассмотренных методов коррекции. АЧХ ТПП при расходах 0,1 и 1 л/с приведены на рис. 3.

Характер АЧХ при больших значениях расхода имеет аналогичный вид, а соответствующие характеристики смещаются по оси частот вправо.

Из приведенных зависимостей следует, что при входном расходе, изменяющемся по гармоническому закону (7) с постоянной составляющей $Q_0 = 0,1$ л/с, значение частоты среза $\Omega_{\text{ср}}$ для МСС оказалось равным 1,1 Гц, а для МПК и МДКО – 1,8 Гц, при этом наклон АЧХ в полосе затухания равен 38 и 40 дБ/дек соответственно. При входном расходе с $Q_0 = 1$ л/с частота среза $\Omega_{\text{ср}}$ для МСС составила 15 Гц, а для МПК и МДКО – 39 Гц, наклон АЧХ в полосе затухания равен 45 и 53 дБ/дек соответственно.

Таким образом, использование МСС приводит к существенному сужению полосы пропускания ТПП, а применение МПК и МДКО не влияет на нее по сравнению с полосой пропускания ТПП без коррекции результатов измерений.

Определение влияния методов коррекции на точность преобразований в ТПП. Как уже было отмечено выше, инструментальная погрешность, возникающая в ТПП, обусловлена двумя процессами: технологическим разбросом параметров при изготовлении и эксплуатационным износом. Количественная оценка влияния первого процесса на результат определения текущего значения частоты была

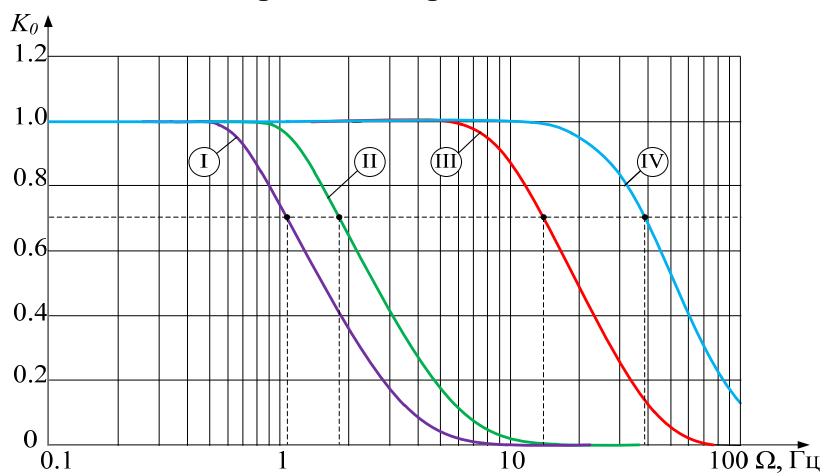


Рис. 3. АЧХ ТПП при различных методах коррекции I – МСС при $Q_0 = 0,1$ л/с; II – МПК и МДКО при $Q_0 = 0,1$ л/с; III – МСС при $Q_0 = 1$ л/с; VI – МПК и МДКО при $Q_0 = 1$ л/с

получена, путем проведения экспериментов с использованием модели, которая описывается системой уравнений (4).

На рис. 4 приведена зависимость погрешности определения частоты как функции технологического разброса параметров ТПП: Δr , ΔL и $\Delta \gamma$.

Исследования проводились при постоянном значении расхода $Q_0 = 1$ л/с и разбросе геометрических параметров Δ в заданном диапазоне $\pm 0,025$. Погрешность определения текущего значения частоты

исходного сигнала составила: без коррекции (кривая I) до 8 %; с использованием МСС (кривая II) до 1,05 % и с использованием МПК и МДКО (кривая III) до 0,65 % (на рис. 4 приведен наихудший случай комбинации отклонений параметров элементов ТПП).

Для оценки влияния износа ТПП на результат преобразований была проведена серия экспериментов, которая имитировала один год его эксплуатации (рис. 5). В течение 365 измерений, каждое из которых соответствовало 1 дню в году, изменялось геометрическое соотношение между элементами ТПП в соответствии с обобщенными данными [8].

Качество методов коррекции оценивалось отклонением δ измеренного расхода от заданного значения $Q_0 = 1$ л/с. Наилучшие результаты были получены при использовании МДКО ($\delta \leq 0,01$) и МСС ($\delta \leq 0,018$), несколько худшие результаты – при использовании МПК ($\delta \leq 0,025$). Максимальное отклонение результатов преобразования без коррекции составило 0,05. Начальные отклонения при использовании МПК и МДКО связаны с накоплением ошибки отбрасывания при моделировании.

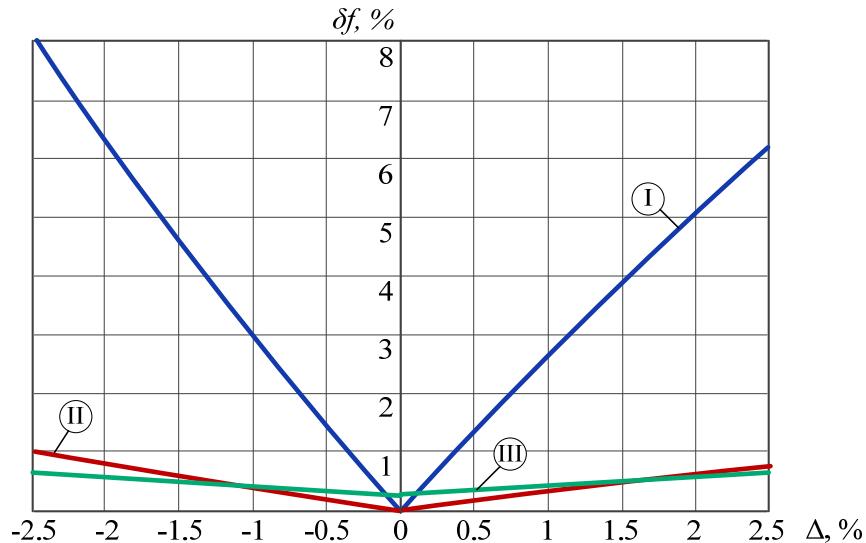


Рис. 4. Зависимость погрешности определения частоты от разброса технологических параметров:
I – без коррекции; II – при коррекции МСС; III – при коррекции МПК и МДКО

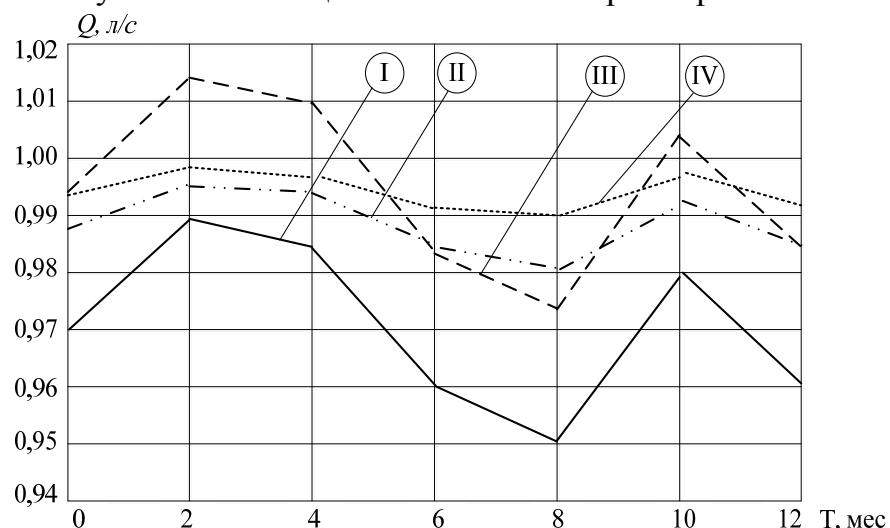


Рис. 5. Временная зависимость качества коррекции результатов преобразования предложенными методами: I – без коррекции; II – при коррекции МСС; III – при коррекции МПК; IV – при коррекции МДКО

Таким образом, использование МСС ведет к существенному снижению погрешности, обусловленной эксплуатационным износом; МПК – технологическим разбросом параметров; МДКО – имеет минимальную погрешность в обоих случаях.

Выводы. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Среди предложенных методов метод скользящего среднего требует минимальных аппаратных и программных затрат, но может быть использован только при измерении медленно изменяющихся расходов, а следовательно использование его в спирометрии ограничено.

Более подходящим для спирометрии является метод предварительной калибровки, однако ряд ограничений технического характера осложняет работу с портативными приборами, реализованными на его основе. Одним из таких ограничений является большая погрешность преобразования при использовании одноразовых турбин.

Наилучшим для использования в портативных спирометрах является метод динамической компенсации ошибки. Теоретически этот метод позволяет учитывать погрешность, вносимую как технологическим разбросом параметров ТПП, так и использованием одноразовых измерительных турбин. Основным преимуществом данного метода является его адаптивность, поскольку он учитывает неизбежные изменения геометрических параметров в процессе эксплуатации ТПП, что продлевает срок его службы. Кроме того, по полученным значениям поправочных коэффициентов можно идентифицировать состояние измерительной турбины и определять целесообразность ее замены.

Список литературы: 1. Office spirometers: the good, the bad, and the ugly / P. L. Enright, M. Swanney, D. Burton and G. Liistro // The buyers' guide to respiratory care products. – 2007. – 5-18 pp. 2. Сахно Ю. Ф., Дроздов Д. В., Ярцев С. С. Исследование вентиляционной функции легких. – М.: Издательство РУДН, 2005. – 83 с. 3. Standardisation of spirometry / M. R. Miller; R. Crapo; J. Hatkinson et al.; edited by V. Brusasco // Eur. Respiratory Journal. – 26'2005. – 319-338 pp. 4. Измерительная система современного спирометра и пути ее усовершенствования / Е. И. Сокол, А. В. Кипенский, Е. И. Король, Р. С. Томашевский // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: «Новые решения в современных технологиях». – Харьков НТУ «ХПИ», 2009. – № 37. – С 22-25. 5. Пат. 55354 Україна, МПК (2009) G01F 3/00. Спірометричний турбінний перетворювач / Є. І. Сокол, А. В. Кіпенський, Є. І. Король, Р. С. Томашевський. – № u201007009; заявл. 07.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. №23. 6. Томашевский Р. С. Улучшение технических показателей портативного спирометра с турбинным преобразователем потока // «Прикладная радиоэлектроника». – Т. 9. – № 4. – Харьков: Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2010. – С. 569-574. 7. Сокол Е. И., Кипенский А. В., Томашевский Р. С., Король Е. И. Адаптивный метод снижения инструментальной погрешности турбинного датчика в процессе его эксплуатации // «Технічна електродинаміка» Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – Ч. 2. – Київ: ІЕД НАНУ, 2010. – С. 265-268. 8. Long term performance of a hand held spirometer / Asger Dirksen, Flemming Madsen, Ole Find Pedersen, Anne Mette Vedel, Axel Kok-Jensen // Thorax. An international peer-reviewed journal for health professionals in all aspects of respiratory medicine. – BMJ Publishing Group Ltd & British Thoracic Society. – 1996. – № 51. – pp. 973-976.

УДК 615.47

Аналіз методів програмної корекції результатів вимірювань, отриманих за допомогою турбінного перетворювача потоку у спірометрічній апаратурі / Сокол Є. І.,

Кіпенський А. В., Томашевський Р. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». - Харків: НТУ «ХПІ». - 2012.-№50(956). - С.146 - 153

У статті з метою зниження інструментальної похибки запропоновані й описані методи математичної корекції результатів вимірювань, отриманих за допомогою турбінного перетворювача потоку. Проведено аналіз частотних властивостей такого перетворювача та визначено вплив на результати перетворення запропонованих методів. На підставі аналізу були зроблені висновки про специфіку запропонованих методів і показана доцільність використання кожного з них в спірометрических апаратурах. Іл.: 5. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: спірометр, турбінний перетворювач потоку, інструментальна похибка, методи корекції, динамічна компенсація помилки.

UDC 615.47

The analysis methods of correction of test results obtained from a turbine flow converter in spirometric apparatus / Sokol E. I., Kipenskyi A. V., Tomashevskiy R. S. // Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue : New desicions of modern technologies. - Kharkov: NTU "KhPI". - 2012. - №50(956). . – P. 146-153

In this paper in order to reduce the instrumental error and describes the proposed methods of mathematical correction of the measurement results obtained with the turbine flow transducer. The analysis of the frequency characteristics of the transmitter and determined the effect on the results of the transformation of the proposed methods. Based on the analysis it was concluded on the specifics of the proposed methods, and shows the feasibility of using each of them in spirometry equipment. Pic.: 5. Bibliogr.: 8 titles.

Keywords: spirometer, turbine flow converter, instrument error correction methods, the dynamic error compensation.

Надійшла до редакції 10.10.2012

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 661.931

И. Ф. ЧЕРВОННЫЙ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ЗГИА, Запорожье;

Г. И. ЩЕРБАНЬ, асп., ЗГИА, Запорожье;

И. Е. ЛУКОШНИКОВ, канд. техн. наук, доц., ЗГИА, Запорожье;

Д. В. ПРУТЦКОВ, д-р хим. наук, с. н. с., зав. лаб., ГП «ГНИП Институт титана», Запорожье

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

На основе анализа соотношения плотностей расплавов алюминия и электролита в процессе электролитического получения алюминия получена зависимость оптимального уровня расплава алюминия от изменения технологических характеристик процесса электролиза. Показана возможность автоматизации процесса, при учете колебаний уровней расплава, с обеспечением максимальной производительности процесса. Из.: 2. Библиогр.: 6 назв

Ключевые слова: алюминий, глинозем, электролизер, оптимизация, контроль, межполюсное расстояние.

Введение

Расплавы алюминия и электролита являются основными составляющими при производстве алюминия электролитическим методом. Для ведения процесса электролиза с высокими показателями выхода по току и энергии возникает необходимость непрерывно контролировать следующие параметры:

- количество выбранного и оставшегося алюминия в электролитической ванне;
- уровень расплава алюминия в электролизере для регулирования теплоотдачи;
- уровень расплава электролита в электролизере для поддержания условий растворимости глинозема;
- разность плотностей расплавов алюминия и электролита для надежного разделения двух жидких фаз.

Существующие методы измерения уровня расплавов алюминия и электролита в электролизере разделяются на «ручные» и «автоматические».

К «ручным» методам можно отнести «измерение с помощью механических устройств», «метод реперной точки» и другими, им подобными методами. Погрешность ручных измерений уровней металла и электролита связана с размытостью границы межфазного раздела «металл-электролит» и составляет 1...2 см, т.к. в процессе электролиза, наряду с образованием расплава металла, в электролите происходит образование мелкодисперсной взвеси металлической фазы алюминия [1].

Известны также и автоматические методы контроля уровня расплавов, которые включают или измерение температуры, или специальные датчики положения расплава. Так, в работе [2] специальным устройством пробивается корка затвердевшего электролита, в расплав опускается измеритель температуры (например, термопара) и выдерживается некоторое время. Затем термопара

© И. Ф. ЧЕРВОННЫЙ, . И. ЩЕРБАНЬ, И. Е. ЛУКОШНИКОВ, Д. В. ПРУТЦКОВ, 2012

поднимается и, после определенной выдержки, снова измеряется температура, а по разности положения термопары рассчитывается уровень электролита в электролизере. Однако это устройство не получило широкого применения. В работе [3], для установления производительности электролизера, в электролизной ванне размещают специальные трубы, в одной из которых получают чистую поверхность расплава алюминия, а во второй – поверхность электролита. С помощью ультразвуковых датчиков измеряют уровни этих поверхностей и по результатам замеров находят действительные значения уровняй алюминия и электролита и по усредненным значениям вычисляют текущее значение производительности электролизной ванны.

В то же время процесс электролиза является динамичным процессом и, чтобы обеспечить заданную производительность и выход по току, необходимо учитывать ряд факторов, таких как размер, форма и материал электродов, интенсивность конвективных потоков в расплаве, падения напряжения в самом электролите и многих других факторов. Для уменьшения падения рабочего напряжения на электролизере необходимо контролировать и поддерживать постоянными межполюсное расстояния (МПР) и состава электролита. Решение задачи по постоянному контролю уровня металла и электролита позволяет поддерживать оптимальные условия для протекания процесса электролиза.

Цель работы

Установление критериальных зависимостей уровня расплава алюминия от технологических характеристик процесса электролиза для обеспечения возможности текущего контроля технологии и автоматизации процесса в целом.

Выполнение исследований и обсуждение результатов

Для проведения исследований использовался электролизер с верхним вертикальным анодом. В электролизной ванне размещали трубы, таким образом, что в одной из них получали чистую поверхность расплава алюминия, а во второй – чистую поверхность расплава электролита (рис. 1).

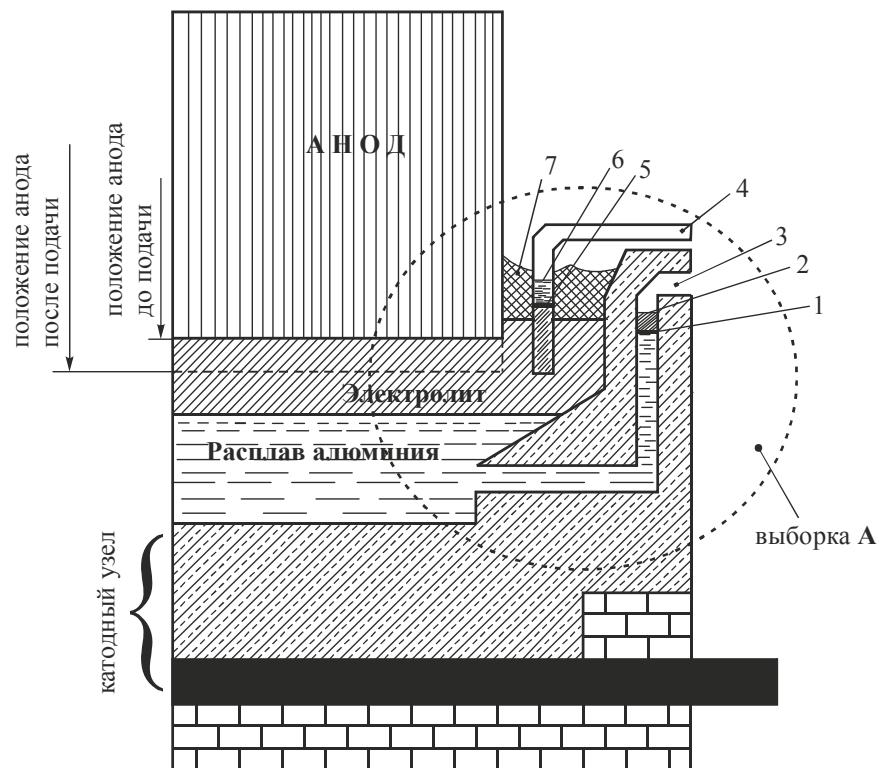


Рис.1 Схема электролизера для анализа уровня расплавов алюминия и электролита до и после подачи анода: 1 – уровень алюминия до подачи анода; 2 - уровень алюминия после подачи анода; 3 – труба для создания свободной поверхности алюминия; 4 – труба для создания свободной поверхности электролита; 5 – уровень электролита до подачи анода; 6 – уровень электролита после подачи анода; 7 – корка электролита

С помощью ультразвуковых датчиков уровней поверхности измеряли уровни поверхностей алюминия и электролита до и после подачи анода. Для выполнения анализа технологических характеристик выберем горизонтальный уровень расплава алюминия в электролизере, ниже которого расплав однороден, т.е. фиксированный уровень расплава алюминия h_{00} в электролизере (рис. 2).

На рис. 2 приняты следующие обозначения уровней расплавов:

h_{00} – уровень (от подины) расплава алюминия с учетом подъема расплава в измерительной трубе до подачи анода; h_{11} – столб расплава алюминия над фиксированным уровнем до подачи анода; h_{21} – столб расплава алюминия над фиксированным уровнем после подачи анода; h_{12} – общий уровень расплава алюминия с учетом подъема расплава в измерительной трубе после подачи анода; h_{31} – столб расплава электролита над фиксированным уровнем алюминия до подачи анода; h_{41} – общий уровень расплава электролита с учетом подъема расплава в измерительной трубе до подачи анода; h_{32} – столб расплава электролита над фиксированным уровнем алюминия после подачи анода; h_{42} – общий уровень расплава электролита с учетом подъема расплава в измерительной трубе после подачи анода;

Оценку влияния периодического изменения межполюсного расстояния (за счет подачи анода) на производительность анода производили с помощью отношения плотностей расплавов алюминия и электролита. В работах [4, 5] отмечается зависимость плотности расплавов алюминия и электролита от температуры

$$d_{Al} = 2,382 - 0,000273 \cdot (T - 659),$$

$$d_{el} = 2,112 - 0,00093 \cdot (T - 1000).$$

Кроме этого указывается, что изменение концентрации составляющих электролита также влияет на его плотность. В работе [6] приведена зависимость плотности электролита от концентрации его составляющих и температуры в следующем виде

$$d_{el} = a \cdot KO + b \cdot C_{Al_2O_3} + c \cdot C_{CaF_2} + d \cdot C_{MgF_2} + e \cdot C_{LiF} + f(T),$$

где a, b, c, d, e – согласующие коэффициенты;

KO – криолитовое соотношение – параметр, характеризующий состав расплавленного электролита;

$C_{Al_2O_3}$ – концентрация глинозема, %;

C_{CaF_2} – концентрация фтористого кальция, %;

C_{MgF_2} – концентрация фтористого магния, %;

C_{LiF} – концентрация фтористого лития, %;

$f(T)$ – температурная зависимость плотности.

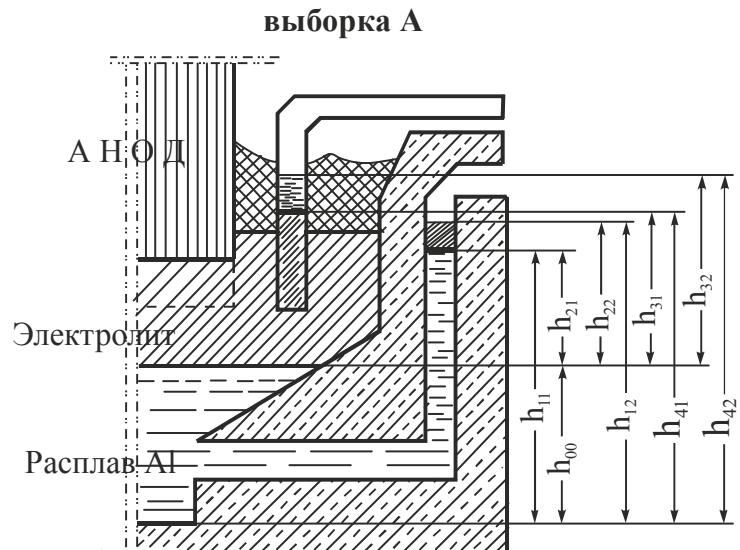


Рис. 2. Уровни расплавов в электролизере – приведена выборка А из рис.1

Для исключения влияния на плотность конвективных и электродинамических потоков в расплавах алюминия и электролита, значения плотности нами взяты в столбах расплавов в соответствующих измерительных трубах (поз. 3 и 4 на рис. 1). С учетом размерностей, соотношения плотностей расплавов можно представить следующим видом

- до подачи анода

$$\frac{d_{Al}}{d_{el}} = \frac{h_{31}}{h_{21}};$$

С учетом характеристик уровней (см. рис. 2), получим выражение

$$\frac{d_{Al}}{d_{el}} = k \cdot \frac{h_{31}}{h_{21}} = k \cdot \frac{h_{41} - h_{00}}{h_{11} - h_{00}};$$

- после подачи анода

$$\frac{d_{Al}}{d_{el}} = \frac{h_{32}}{h_{22}};$$

Для положения после подачи анода, получим

$$\frac{d_{Al}}{d_{el}} = k \cdot \frac{h_{32}}{h_{22}} = k \cdot \frac{h_{41} - h_{00} + \Delta h_{el}}{h_{11} - h_{00} + \Delta h_{Al}},$$

где k – коэффициент, отражающий разницу плотностей расплавов;

Δh_{Al} и Δh_{el} – изменение уровня расплавов при подаче анода, соответственно ($\Delta h_{Al} = h_{12} - h_{11}$; $\Delta h_{el} = h_{42} - h_{41}$).

Принимая равенство плотностей соответствующих расплавов до и после подачи анода, а следовательно, и их отношение, получим выражение

$$\frac{h_{41} - h_{00}}{h_{11} - h_{00}} = \frac{h_{41} - h_{00} + \Delta h_{el}}{h_{11} - h_{00} + \Delta h_{Al}}.$$

После преобразования, получим выражение, которое характеризует оптимальный уровень расплава алюминия в ванне для данного типа электролизера

$$h_{00} = \frac{h_{11} \cdot \Delta h_{el} - h_{41} \cdot \Delta h_{Al}}{\Delta h_{el} - \Delta h_{Al}}.$$

Так как, согласно [5], плотность расплава алюминия примерно на 10 % выше плотности расплава электролита, то анализ зависимостей плотностей от температуры (см. выше) показывает, что плотность расплава электролита повышается быстрее, чем плотность расплава алюминия. Это может привести к перемешиванию расплавов и снижению производительности электролизера.

Полученная зависимость величины уровня расплава алюминия от характеристик процесса позволяет, по изменению колебаний столба расплава алюминия и столба расплава электролита, вести автоматический контроль процесса электролиза с обеспечением максимальной производительности.

Выводы

На основе анализа соотношения плотностей расплавов алюминия и электролита в процессе электролитического получения алюминия получена зависимость оптимального уровня расплава алюминия от изменения технологических характеристик процесса электролиза. Показана возможность автоматизации процесса, при учете колебаний уровней расплава, с обеспечением максимальной производительности процесса.

Список литературы: 1. Бегунов, А. И. Макрокинетика потерь металла в алюминиевых электролизерах [Текст] : монография / А. И. Бегунов, С. Д. Цымбалов. – СПб. : Наука, 1994. – 76 с. – 500 экз. – Библиог.: с. 72-75. – ISBN 5-02-024796-0. 2. Patents 6065867 US, Int. Cl.⁷ G 01 K 13/00, G 01 F 23/24, C 25 C 3/14. Method and Device for Measuring the Temperature and the Level of the Molten Electrolysis Bath in Cells for Aluminum Production [Электронный ресурс] / Benoit Sulmont, Cambery; Pierre Homsi, Saint-Jean-de-Maurienne; Oliver Granacher, Hermillon. Assignee: Aluminium Pechiney, Courbevoie, France/ - Appl. No.: 08/570,496 ; Filed: Dec. 11, 1995 ; Date of Patent: May 23, 2000. – Режим доступа http://www.patentlens.net/imageserver/getimage/US_6065867.pdf?id=1575581&page=all. – выборка 01.08.12. 3. Пат. 2299932 Российская Федерация, МПК⁷ C 25 C 3/20. Способ контроля производительности электролизных ванн [Электронный ресурс] / Радионов М. А., Громыко А. И. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Красноярский государственный технический университет (КГТУ). - № 2005136317/02. ; заявл. 22.11.05 ; опубл. 27.05.07. Режим доступа <http://www.findpatent.ru/patent/229/2299932.html>. – выборка 01.08.12. 4. Галевский, Г. В. Металлургия вторичного алюминия [Текст] : учебное пособие для вузов / Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 289 с. – 200 экз. – Библиог.: с. 285-286. – ISBN 5-02-031403-X. 5. Троицкий, И. А. Металлургия алюминия [Текст] : учебное пособие для техникумов / И. А. Троицкий, В. А. Железнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1984. – 400 с. – Библиог.: с. 396. – Предмет. указ.: с. 396-398. – 6800 экз. 6. Solheim, A. The Density of Molten NaF-LiF-AlF₃-CaF₂-Al₂O₃ in Aluminium Electrolysis [Текст] : Aluminum Transactions, 2000. – Vol. 2. – No. 1. – P. 161-168.

УДК 661.931

Визначення технологічних характеристик процесу електролітичного отримання алюмінію/ І. Ф. Червоний, Г. І. Щербань, І. Є. Лукошніков, Д. В. Прутцьков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С. 154-158

На основі аналізу співвідношення щільності розплавів алюмінію і електроліту в процесі електролітичного отримання алюмінію отримана залежність оптимального рівня розплаву алюмінію від зміни технологічних характеристик процесу електролізу. Показана можливість автоматизації процесу, при обліку коливань рівнів розплаву, із забезпеченням максимальної продуктивності процесу. Іл.: 2. Бібліог.: 6 назв.

Ключові слова: алюміній, глинозем, електролізери, оптимізація, контроль, міжполюсна відстань.

UDK 661.931

Determination of technological descriptions of process electrowinning of aluminium/ I. Chervony, G. Shcherbanj, I. Lukoshnikov, D. Prutskov// Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - № 50(956). P. 154-158

On the basis of analysis of correlation of closeness of fusions of aluminum and electrolyte in the process of electro winning of aluminum the got dependence of optimal level of fusion of aluminum on the change of technological descriptions of process of electrolysis. Shown possibility of automation of process, at the account of vibrations of levels of fusion, with providing of burst performance of process. Im.: 2: Bibliogr.: 6

Keywords: aluminum, alumina, electrolyzed, optimization, control, interplay distance.

Надійшла до редакції 10.09.2012

Ю. Е. МЕГЕЛЬ, д-р техн. наук, проф., ХНТУСХ им. П.Василенко, Харьков;
Д. А. ЛЕВКИН, асп., ХНТУСХ им. П.Василенко, Харьков

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЭМБРИОНЕ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗИЛОС

С помощью кривой Безье в статье математически рассчитано распределение температуры, отображаемое на каждом слое эмбриона кольцами изотерм в технологии Зилос. . Из.: 3. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: кривая Безье, кольца изотерм.

Введение

Используя отображение колец изотерм технологии Зилос, можно рассчитать распределение температуры в эмбрионе для лазерного импульса на эмбрион. Поскольку эмбрион состоит из четырех различных слоев [1-3], то для уменьшения его травмируемости при лазерном воздействии на эмбрион необходим тщательный контроль температуры в эмбрионе.

Постановка задачи

По данным из итогового доклада Еврокомиссии в 2008 году «5 главных для развития экономики технологий это: лазерные технологии, биотехнологии, нанотехнологии, микро- и наноэлектроника, создание новых материалов...» [4]. По сравнению с 2010г. объем продажи источников лазерного излучения увеличился на 14% и в 2011г. составил 7,46 млрд. долл. Однако, по данным экспертов, из-за продолжительного мирового кризиса в экономике, объемы продаж лазеров в 2012г. будут насчитывать около 7,57 млрд. долл.

С 2008г. мировыми лидерами по применимости лазерного оборудования являются технологии связи и оптической памяти, на долю которой приходится около 31% всех изготовленных в мире лазеров, обрабатывающая промышленность и эксимерная литография - 26%, медицинские технологии - 7%. С 2011г. прогнозируется увеличение продажи лазерного оборудования для медицины на сумму до 518 млн. долл. (3,8%). Использование современных лазерных излучателей в медицине обусловит повышение качества лечения и уменьшение количества рецидивов среди больных, снижения затрат на содержания фонда здравоохранения. К тому же затраты на внедрение новейших лазерных технологий в медицину, окупаются в 7-8 раз.

В сельском хозяйстве лазеры используются для повышения засухоустойчивости растений, борьбы с болезнями сельскохозяйственных растений и животных, повышения продуктивности крупного рогатого скота (КРС) [5].

На конференции ESHRE 2005 компания Hamilton Thorne представила программное обеспечение для лазера ZILOS-tk [3]. Так как, эмбрион представляет собой нелинейный, нестационарный многослойный микробиологический объект, то для повышения жизнеспособности при действие на него технологии Зилос необходим тщательный контроль распределения температуры в эмбрионе. Поэтому, актуальной научной задачей является математический расчет распределения колец изотерм в эмбрионе под действием на него технологии Зилос.

Основная часть

В технологии Зилос распределение температуры в эмбрионе отображается

© Ю. Е. МЕГЕЛЬ, Д. А. ЛЕВКИН, 2012

кольцами изотерм. На Рис. 1-3 представлены различные распределения температуры в эмбрионе и диаметры отверстия на зоне пеллюцида эмбриона при различном времени и мощности воздействия лазера технологии Зилос на эмбрион [4].

Математический расчет колец изотерм в эмбрионе будем проводить с помощью кривой Безье. Кривая Безье задается через компоненты векторов опорных вершин P_i и базисные функции $b_{i,n}$, где n - количество колец изотерм [7]. Благодаря простоте построения, кривая Безье широко используется в компьютерной графике и в таких областях векторной графики, как, например, «Adobe Illustrator» или «Inkscape» [6].

Измерение линейных расстояний и визуальный контроль эмбриона выполнены с помощью инвертированного микроскопа «AXIOVERT - 35» фирмы «OPTON», Германия, с окуляр - микрометром и ценой деления 5 мкм (с объективом $\times 20$) или 10 мкм (с объективом $\times 10$).

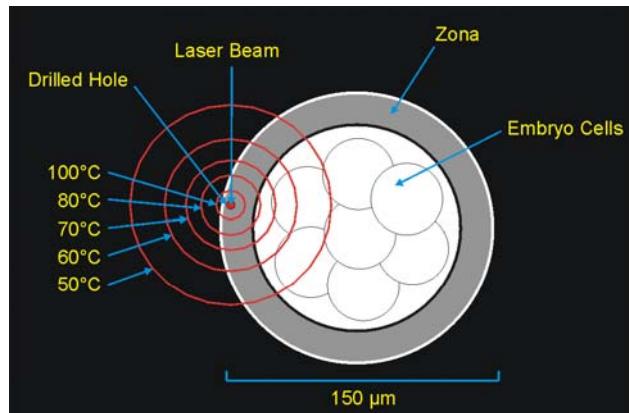


Рис. 1. Мощность импульса 45 мВт

Продолжительность импульса 25 мс

При $n=5$.

вычислим базисные функции $b_{i,n}$.

$$b_{1,5}=5t(1-t)^4$$

$$b_{2,5}=10t^2(1-t)^3$$

$$b_{3,5}=10t^3(1-t)^2$$

$$b_{4,5}=5t^4(1-t)$$

$$b_{5,5}=t^5$$

Зададим функции компонент векторов опорных вершин - P_i :

Опорные точки P_i

Значение опорных точек P_i

P_1	5.01
P_2	13.36
P_3	21.71
P_4	31.73
P_5	51.73

В этом случае кривая Безье примет вид

$$B(t) = 5.01(5t(1-t)^4) + 13.36(10t^2(1-t)^3) + 21.71(10t^3(1-t)^2) + \\ + 31.73(5t^4(1-t)) + 51.73t^5,$$

где параметр $0 < t < 1$.

Продолжительность импульса 3 мс

При $n=4$.

вычислим базисные функции $b_{i,n}$.

$$b_{1,4}=4t(1-t)^3$$

$$b_{2,4}=6t^2(1-t)^2$$

$$b_{3,4}=4t^3(1-t)$$

$$b_{4,4}=t^4$$

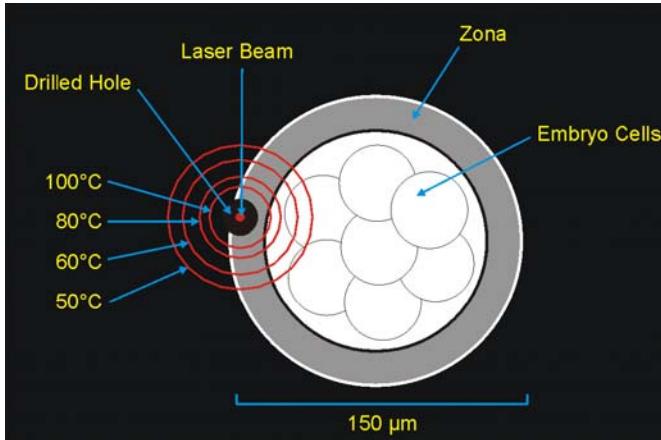


Рис. 2. Мощность импульса 140 мВт

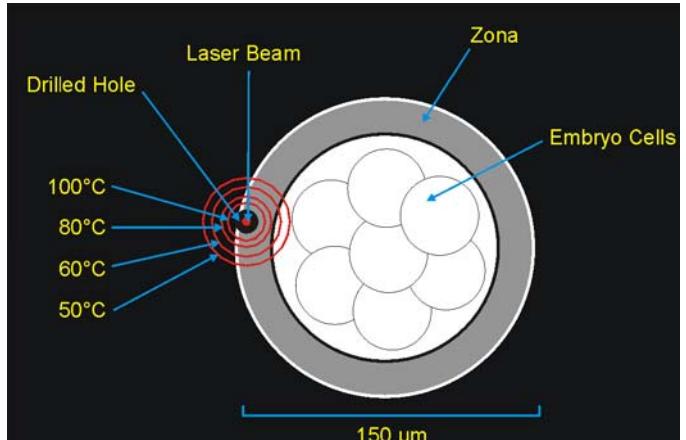


Рис. 3. Мощность импульса 140 мВт

Зададим функции компонент векторов опорных вершин - P_i :

Опорные точки P_i

$$P_1$$

$$P_2$$

$$P_3$$

$$P_4$$

Значение опорных точек P_i

$$16.6$$

$$23.8$$

$$31.7$$

$$40$$

В этом случае кривая Безье примет вид

$$B(t) = 16.6(4t(1-t)^3) + 23.8(6t^2(1-t)^2) + 31.7(4t^3(1-t)) + 40t^4,$$

где параметр $0 < t < 1$.

Продолжительность импульса 1 мс

При $n=4$.

вычислим базисные функции $b_{i,n}$.

$$b_{1,4}=4t(1-t)^3$$

$$b_{2,4}=6t^2(1-t)^2$$

$$b_{3,4}=4t^3(1-t)$$

$$b_{4,4}=t^4$$

Зададим функции компонент векторов опорных вершин - P_i :

Опорные точки P_i

Значение опорных точек P_i

$$P_1$$

$$8.3$$

$$P_2$$

$$11.62$$

$$P_3$$

$$16.6$$

$$P_4$$

$$21.7$$

В этом случае кривая Безье примет вид

$$B(t) = 8.3(4t(1-t)^3) + 11.62(6t^2(1-t)^2) + 16.6(4t^3(1-t)) + 21.7t^4,$$

где параметр $0 < t < 1$.

Выводы

Построена кривая Безье отображения колец изотерм технологии Зилос в эмбрионе. Математический учет распределения температуры в эмбрионе при действии на него технологии Зилос позволит повысить выживаемость эмбриона.

Список литературы: 1. Antinori, S. Zona thinning with the use of laser: a new approach to assisted hatching in human // Hum R., - 1995. - 3.Р. 100-130. 2. Мегель, Ю. Е. Математическая модель теплового нагрева многослойного микробиологического объекта: [Текст] / Ю. Е. Мегель, Д. А. Левкин // Восточно-Европейский Журнал передовых технологий. - № 3/4 (57). - Харків, 2012. - С. 4-8. 3. <http://www.hamiltonthorne.com/documentation/pdf/TechnicalNotes/ZILOSHandout.pdf>. 4.

Технологическая платформа: Стратегическая программа исследований (предварительная версия) [Текст] / [Иновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии - фотоника]. - Москва: ЛАС, январь 2012. - 40с.<http://www.cislaser.com/laser/news/fotonica.pdf>. 5. Безуглий, М. Д. Сучасний стан реформування аграрно-промислового комплексу: [Текст] / М. Д. Безуглий, М. В. Присяжнюк. - К. : Аграр. наука, 2012. - 48с. 6. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики: [Текст] / Д. Роджерс, Дж. Адамс - М. : Мир, 2001. - 604с. 7. Forrest, A. R. Interactive interpolation and approximation by Bezier polynomials: [Текст] / The Computer Journal, - 1972. - V.15. - N 1 - P.71-79.

УДК 517.955;636.5

Аналітичний вираз розподілу температури в ємбріоні для технології зілос / Мегель Ю. Е., Левкін Д. А.// Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С. 159-162

За допомогою кривої Без'є в статті математично розраховане розподілення температури, яке відображається на кожному шарі ємбріона кільцями ізотерм в технології Зілос. Іл.: 3. Бібліогр.: 7. назв.

Ключові слова: крива Без'є, кільця ізотерм.

UDK 517.955;636.5

Analytical expression of the temperature distribution in embryos technologies zilos / Mehely Y., Levkin D.// Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. - №50(956). P. 159-162

In the article on the ground of Bezier curve we calculated an allotment of temperatures shown as rings of isotherms on each layer of an embryo in Zilos technology. Im.:3 : Bibliogr.: 7.

Keywords: Bezier curve, rings of isoterms.

Надійшла до редакції 10.09.2012

УДК 621.785.33

В. М. ВЛАСОВЕЦь, д-р. техн. наук, проф., ХНТУСХ им. П. Василенка, Харьков

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ ПРИ СТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ ИЗДЕЛИЙ ДВУХПОЛЮСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТОМ

Определено влияние краевых эффектов (распределение магнитного потока при намагничивании изделия, наличие геометрических изменений в областях намагничивания) и площади поперечного сечения, расстояния между полюсами и до намагничающих катушек полюсных наконечников на погрешность измерения коэрцитивной силы при оценке свойств изделий неразрушающим магнитным методом. Ил.: 2. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: магнитный контроль, коэрцитивная сила, погрешность измерения, двухполюсный электромагнит

Введение. Экспериментальные работы по выбору оптимальных режимов модифицирующей и термической обработки на массивных отливках – валках являются затратными. К тому же натурные испытания достаточно трудоёмки: они требуют разрезания валка для проведения исследований макро- и микроструктуры рабочего слоя, распределения твёрдости, определения механических свойств.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для массивных изделий исследования проводят лишь на образцах, вырезанных из верхнего и нижнего края бочки при механической обработке [1]. Это не позволяет выполнить их оценку по всей длине и глубине рабочего слоя изделия [2]. В таком случае эффективной альтернативой является

© В. М. ВЛАСОВЕЦ, 2012

использование структурочувствительной магнитной характеристики – коэрцитивной силы (далее H_c), которая при применении современных коэрцитиметров позволяет оценивать механические свойства материала рабочего слоя без разрушения изделия.

Магнитные характеристики сплава, согласно ГОСТ 8.377 определяют при однородном намагничивании торроидальных образцов. Однако такое намагничивание нехарактерно для реальных изделий с различной формой при магнитном контроле [3]. Поэтому важным является оценка влияния различных факторов (прежде всего конструктивных особенностей двухполюсного электромагнита коэрцитиметра и полюсных наконечников, используемых на производстве) на достоверность оценки свойств изделий по магнитному параметру.

Цель работы. Оценить влияние различных факторов на погрешности измерения H_c при структурном анализе изделий двухполюсным электромагнитом.

Методики исследования. Влияние краевых эффектов (распределение магнитного потока при намагничивании изделия, наличие геометрических изменений в областях намагничивания) и площади поперечного сечения, расстояния между полюсами и до намагничающих катушек полюсных наконечников изучали на примере коэрцитиметров КРМ-Ц с двумя типами накладных преобразователей – большим, с расстоянием между полюсами 35 мм (тип Б), размер площадки для фиксации щупа 30×10 мм, предназначенным для контроля массивных изделий, и малым – 25 мм (тип М), 15×5 мм, используемым для оценки качества покрытий, упрочнённых зон и участков локальных неоднородностей. Для первого типа преобразователя использовали 6 видов полюсных наконечников, для второго – 2 вида (табл. 1).

Таблица 1. Типы используемых полюсных наконечников различных датчиков

Условное обозначение	Геометрический параметр			Тип полюсного наконечника	Условное обозначение	Геометрический параметр			Тип полюсного наконечника
	толщина, а, мм	ширина, b, мм	Площадь поперечного сечения, $S_{\text{пл}}, \text{мм}^2$			толщина, а, мм	ширина, b, мм	Площадь поперечного сечения, $S_{\text{пл}}, \text{мм}^2$	
Б00 ¹	12	27	324		Б04	12	27	324	
Б01	12	27	324		Б05	12	27	324	
Б02	4	27	108		М00	5	27	135	
Б03 ²	5	27	135		М01	22	26	572	

Примечание. 1 – тип полюсного наконечника аналогичен стандартному накладному преобразователю коэрцитиметра; 2 – увеличено расстояние от катушек до детали, более узкое расстояние между щупами, чем Б02

Для расчёта полей в нелинейной ферромагнитной среде намагничиваемый объем разделен на области, в каждой из которых вектор намагниченности постоянен. Топография результирующего поля определена намагниченностью всех элементарных объемов с учетом их взаимного влияния.

Известно [4], что напряженность поля на поверхности изделия в центре межполюсного промежутка, изменение поля в нейтральной плоскости электромагнита и глубина контролируемого слоя зависят от площади полюса $S_{\text{и}}$. В то же время использование для ферромагнитного изделия представлений Ротерса [5, 6] о путях прохождения магнитного потока в воздухе позволило получить численное совпадение расчетного и экспериментального значений тока размагничивания при равенстве площадей поперечного сечения сердечников электромагнита и изделия. Предполагается, что объем, ограничивающий поток в изделии, перемагничивается по предельной петле гистерезиса.

Результаты работы и их обсуждение. Для расчета объем, в котором сосредоточен поток при намагничивании изделия, разделен на шесть областей: 1, 2 и по две области 3 и 4 (рис. 1, 2).

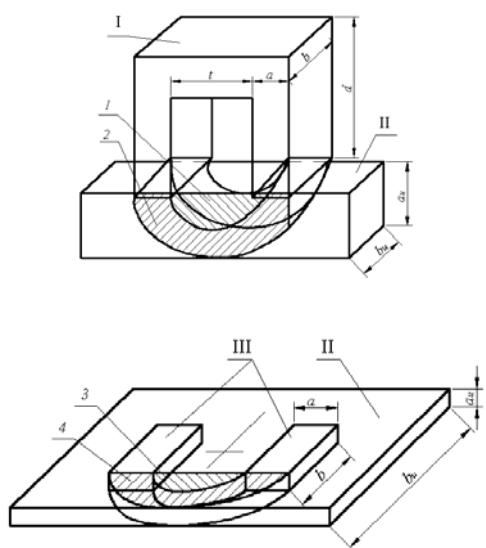


Рис. 1. Магнитная цепь двухполюсного электромагнита I, установленного на изделие II; III – расположение полюсов: 1–4 – участки возможных путей магнитного потока



Рис. 2. Диапазон изменения условных показателей $\beta = \sqrt{S_{\text{эл}} / 2t}$ и b/a электромагнитов (уточнённые данные для коэрцитиметра КРМ-Ц)

На этом рисунке показаны магнитная цепь электромагнита и простые формы путей потока 1–4, которыми заменено действительное поле. Область 1 представляет собой полуцилиндр с радиусом $t/2$ и длиной b . Область 2 расположена под полюсами и межполюсным промежутком и ограничена двумя цилиндрическими поверхностями радиусами $t/2$ и $t/2+a$, а также длиной b . Область 3 примыкает к межполюсному промежутку и представляет собой четвертую часть сферы радиусом $t/2$. Область 4 примыкает к полюсам и ограничена сферическими поверхностями радиусами $t/2$ и $t/2+a$. Намагничиваемый объем разделен по глубине на слои приблизительно такой же толщины (определен изменение индукции вдоль средней линии 1 каждой области). Это связано с тем, что все области намагничиваются неоднородно. Распределение индукции в ферромагнетике, рассчитанное в приближении $\mu' = \text{const}$, значительно лучше совпадает с истинным, чем результаты расчетов поля в том же приближении [7]. Это дало возможность определить абсолютные значения индукции вдоль заданной линии при намагничивании изделия и известной индукции в полюсе электромагнита.

Объемы V участков, с учетом формулы площади для эллипса, определены из выражения $V = ABC \pi/2$; значения полуосей эллипса A , B и толщины C участков приведены в табл. 2.

Средние длины l силовых участков 1–4

вычислены по формуле полупериметра эллипса [8]:

$$l = (A + B)(1 + \lambda^2 / 4 + \lambda^4 / 64 + \lambda^6 / 256) / 2; \lambda = (A - B) / (A + B) \quad (1)$$

Значения полуосей эллипсов, необходимые для расчета l , даны в табл. 3.

Таблица 2- Полуоси эллипсов и толщина С участков для определения объемов

Участок	A	В при:		Участок	A	В при:	
		$h < t/2+a$	$h \geq t/2+a$			$0 < (b_u - b) < t+2a$	$b_u - b \geq t+2a$
1	$t/2$	$th/(t+2a)$	$t/2$	3	$t/2$	$t(b_u - b)/4(t+2a)$	$t/2$
2	$t/2+a$	h	$t/2+a$	4	$t/2+a$	$(b_u - b)/2$	$t/2+a$
$C=b$ при $b < b_u$; $C= b_u$ при $b_u < b$				$C=h$			

Таблица 3- Полуоси эллипсов для определения средних длин силовых линий участков

Уча- сток	A	В при:		Уча- сток	A	В при:	
		$h < t/2+a$	$h \geq t/2+a$			$0 < (b_u - b) < t+2a$	$b_u - b \geq t+2a$
1	$t/2$	$th/2(t+2a)$	$t/4$	3	$t/2$	$t(b_u - b)/4(t+2a)$	$t/4$
2	$(t+a)/2$	$(t+a)h/(t+2a)$	$(t+a)/2$	4	$(t+a)/2$	$(t+a)(b_u - b)/2(t+2a)$	$(t+a)/2$

Средние длины силовых линий зависят, в основном, от размеров электромагнита и изменяются в пределах: для участков 1,3 $t \leq l \leq \pi t/2$; для участков 2, 4 $t+a \leq l \leq \pi(t+a)/2$.

Проводимости $G_1 - G_4$ участков определены по формуле

$$G_i = \mu_0 \mu V_i / l_i^2, i=1\dots 4, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость. Проводимость изделия равна сумме проводимостей

$$G=G_1+G_2+2(G_3+G_4) \quad (3)$$

Максимальное значение G соответствует условию равноправности прохождения потока по толщине и ширине пластины ($2h=b_u - b$). Оптимальная толщина изделия, при которой будет наблюдаться предельная петля магнитного гистерезиса, найдена из соотношения $h_{\text{опт}}(b+2h_{\text{опт}})=S_u$.

Значение тока размагничивания, пропорционального H_c определено по зависимости [9]:

$$I_{pc} = \left(U_{c.e.} + \frac{U_{c.e.}}{1 + G_F/G} \right) / \omega_p \quad (4)$$

где $U_{c.e.}$, $U_{c.u.}$ – соответственно падения магнитных потенциалов на сердечниках электромагнита и изделии; $U_{c.e.} = H_{c.e.} l_{c.e.}$ (принято $U_{c.e.} = 12$ А для коэрцитиметра КРМ–Ц), $U_{c.u.} = H_c l$, где $H_{c.e.}$, H_c – коэрцитивные силы; $l_{c.e.}$, l – средние длины силовых линий в сердечниках электромагнита и изделии; G_F – проводимость магнитному потоку рассеяния около изделия (принято $G_F = 0,18 \times 10^{-6}$ А/Вб согласно [10]); ω_p – количество витков размагничивающей обмотки электромагнита ($\omega_p=745 \times 2$) в конструкции накладного преобразователя КРМ–Ц. Согласно [11]:

$$U_{c.u.} = (H_c [l_1 G_1 + l_2 G_2 + 2(l_3 G_3 + l_4 G_4)] / G) \quad (5)$$

$$I'_{pc} = U_{c.e.} / \omega_p + K_1 H_c, \quad (6)$$

где $U_{c.e.}/\omega_p$ – начальное значение тока, обусловленное конструкцией электромагнита и коэрцитивной силой материала сердечников; K_1 - коэффициент определяющий чувствительность к H_c .

Начальное значение $U_{c.e.}/\omega_p$ определено на основании использования образца из низкокоэрцитивной электротехнической стали ($H_c = 0,1$ А/см). Для используемого прибора КРМ–Ц оно составило 3,2 А/см.

В соответствии с вышеприведенными выражениями рассчитано значение H_c , которое учитывает изменение I_{pc} , вследствие разной толщины, формы исследуемых изделий, а для максимального уменьшения влияния краевых эффектов введен дополнительный коэффициент K_{II}

$$H_c = I'_{pc} K_{II}, \quad (7)$$

где I'_{pc} – показания коэрцитиметра без учёта корректировки краевых эффектов от формы изделия.

Расчет проведен для электромагнита накладного преобразователя коэрцитиметра КРМ–Ц с размерами, мм: $a = 12$, $b = 28$, $t = 34$, $d = 100$.

Расчетным методом установлен вклад каждой из зон на уровень H_c (см.рис. 1): 1 – 60%, 2 – 30%, 3 – 7%, 4 – 3% (для зон 3 и 4 в соответствии с обозначением на рис. 1 – 7/2% и 3/2% соответственно). Для проверки полученной модели выполнены измерения (табл. 4) на двух стандартных образцах размерами $58 \times 35 \times 7$ с известными показателями H_c (13,7 и 4,9% А/см).

Таблица 4. Экспериментальная проверка модели двухполюсного электромагнита

Изме- рение №	Расстояние центра образца A_i и полюсов электромагнита A_1	Размагничивающий ток I_{pc} на стандартных образцах ¹		Коэффи- циент K_{II}	Коэрцитивная сила ² H_c , А/см	
		13,7 А/см	4,9 А/см		13,7 А/см	4,9 А/см
1	A_i и A_1 совпадают	13,7	4,9	1	13,7	4,9
2	по оси x ($b_w/2 - b/2$)	13,8	4,9	0,99	13,7	4,9
3	по оси x ($b_w/2 - b/2 + 1/4b$)	14,0	5,0	0,98	13,7	4,9
4	по оси x ($b_w/2 - b/2 + 1/2b$)	14,6	5,3	0,94	13,7	5,0
5	по оси x ($b_w/2 - b/2 + 3/4b$)	15,5	5,6	0,88	13,6	4,9
6	по оси x ($b_w/2 - b/2 + 7/8b$)	14,3	5,2	0,95	13,6	4,9
7	по оси y ($l_w/2 - a/2 + 1/4a$)	13,3	4,7	1,04	13,8	4,9
8	по оси y ($l_w/2 - a/2 + 1/2a$)	13,1	4,6	1,06	13,9	4,9
9	по оси y ($l_w/2 - a/2 + 3/4a$)	12,1	4,2	1,15	13,9	4,8
10	по оси y ($l_w/2 - a/2 + 7/8a$)	11,5	4,1	1,20	13,8	4,9

Примечание. 1 – значения размагничивающего тока I_{pc} – среднее из 5-ти измерений; 2 - H_c определялась расчетным методом по (6). A_i и A_1 соответственно центры изделия и электромагнитов в плоскости xy .

В случае уменьшения площади контакта электромагнит-изделие и появления краевого эффекта при перемещении вдоль оси x I_{pc} увеличивается, за счёт возрастания потерь на перемагничивание образца. Уменьшение площади контакта по оси y уменьшает, как объем основных зон, так и длину силовых линий участков, что уже не компенсируется возрастанием потерь.

При проведении измерений H_c сплавов использованы полюсные наконечники разного поперечного сечения и геометрии (см.табл. 1). Для проверки полученной модели при изменении поперечного сечения выполнен расчет H_c (табл. 5) с учётом переходного коэффициента, учитывающего площадь поперечного сечения, расстояние между полюсами и расстояние до намагничающих катушек изделия.

Усложнение формы полюсных наконечников приводит к ухудшению чувствительности при измерении H_c . Так, для наконечников Б03 и М01 не удалось установить единые значения коэффициентов K_{III} при оценке стандартных образцов с 13,7 и 4,9 А/см. Это можно объяснить большой удаленностью изделия от намагничающих электромагнит катушек для наконечников Б03 и сложной формой для М01, что, согласно формуле (4), приводит к резкому падению магнитного потенциала на сердечнике.

Таблица 5. Параметры исследованных полюсных наконечников

Условное обозначение	Площадь поперечного сечения электромагнита S_i , мм^2	Размагничивающий ток I_{pc} на стандартных образцах		Коэффициент K_{III}	Коэффициент приведения формы наконечников Б00	Коэрцитивная сила H_c , А/см^2	
		13,7 А/см	4,9 А/см			13,7 А/см	4,9 А/см
Б00	12×28	13,7	4,9	1	1	13,7	4,9
Б01	24×28	10,7	3,8	1,3	0,78	13,9	4,9
Б02	5×28	9,7	3,5	1,4	0,71	13,6	4,9
Б03 ³	5×28	6,1	3,6	2,2–1,3	-	-	-
Б04 ⁴	12×28	14,4	5,4	0,92	1,05	13,2	5,0
Б05	12×28	12	5	0,99	0,88	11,9	5,0
М00 ⁵	5×28	13,7	4,9	1	1	13,7	4,9
М01	12×28	8,5	7,5	1,6–0,7	-	-	-

Примечание. 1 – значения размагничивающего тока I_{pc} – среднее из 5-ти измерений; 2 – H_c определялась расчетным методом по (6). 3 – Б03 отличается от Б04 увеличенным на 20 мм расстоянием от намагничающих катушек до изделия; 4 – наконечники Б04 и Б05 предназначены для замера изделий круглого сечения диаметрами 12 и 16 мм соответственно; 5 – Б00–Б02 наконечники накладного преобразователя прибора КРМ–Ц–1, М00–М01 - прибора КРМ–Ц–2

Исходя из условия максимального намагничивания центра межполюсного участка на поверхности изделия, найдено оптимальное соотношение сторон полюса накладного преобразователя прибора КРМ–Ц, которое близко к полученным данным для прибора КИФМ [12].

Установлена зависимость в приведенных координатах для коэрцитиметра КРМ–Ц, которая позволила количественно оценить влияние соотношения S_i / S_{el} на уровень H_c :

$$I'_{pc} / I^*_{pc} = 1 + 4,8(S_i / S_{el})^{1,6} e^{-1,91(S_i / S_{el})}, \quad (8)$$

где I'_{pc} – текущее показание коэрцитиметра, I^*_{pc} – показание, соответствующие массивному образцу ($S_i / S_{el} \gg 1$), когда I_{pc} уже не зависит от размера образца.

Максимальная чувствительность коэрцитиметра к измерениям H_c образцов достигается, когда S_i близко к S_{el} . Снижение чувствительности при уменьшении площади поперечного сечения изделий обусловлено уменьшением падения магнитного потенциала $U_{c,i}$ из-за уменьшения эффективной длины образца l , а также увеличения магнитного сопротивления потоку рассеяния. При больших значениях S_i , что имеет место при контроле большинства изделий, также имеет место снижение чувствительности – из-за уменьшения $U_{c,i}$ (вследствие сползания намагниченности образцов на частный гистерезисный цикл) по причине недостаточности магнитного потока при намагничивании изделий таких сечений (происходит неполное намагничивание зоны исследования).

Выводы. Результаты проведённых исследований позволили сделать следующие выводы. Максимальная чувствительность метода обеспечивается при равенстве площадей поперечного сечения изделия и полюса преобразователя. Если изделие тоньше, то чувствительность снижается до 40% из-за изменения падения магнитного потенциала и увеличения сопротивления магнитного сопротивления потоку рассеивания.

При контроле большинства образцов или непосредственно рабочего слоя массивных изделий по H_c , чувствительность уменьшается до 12% из-за неполного намагничивания зоны исследования. В этом случае достоверность оценки решающее значение имеет

ход кривой зависимости H_c от максимального значения индукции при намагничивании конкретного материала.

Список литературы: 1. Власовець В. М. Оценка твердости отливок из стали 60Х2Н4ГМФ по коерцитивной силе. / Власовець В. М. // Вестник ХНАДУ. – Харьков, 2010. – Вып. 51. – С.81–84. 2. Власовець В. М. Повышение свойств изделий из железоуглеродистых сплавов с оценкой структурного состояния магнитным методом. / Власовець В. М. // Материалы 10-го Юбилейного Международного научно-технического семинара [“Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте”]. – 2010. – С.27–29. 3. Осинцев А. А. Некоторые возможности повышения достоверности магнитного контроля прочностных свойств горячекатаных труб из стали 37Г2С. / А. А. Осинцев, В. Н. Костин, Е. Ю. Сажина // Дефектоскопия. – 2002. – № 12. – С. 52–57. 4. Михеев М. Н. Определение размеров приставного электромагнита, предназначенного для неразрушающего контроля глубины и твердости поверхностно-упрочненных слоев. / М. Н. Михеев, Г. В. Бида, В. Н. Костин // Дефектоскопия. – 1984. – № 8. – С. 10–16. 5. Газизова Г. Г. Расчет магнитного поля приставного электромагнита с П образным сердечником. / Г. Г. Газизова, Т. И. Гусейнова, З. Г. Каганов // Дефектоскопия. – 1982 – № 7. – С. 71–76. 6. Guru B. S. Electromagnetic field theory fundamentals. / B. S. Guru, H. R. Hiziroglu. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 681 р. 7. Костин В. Н. О некоторых закономерностях необратимого изменения намагниченности поликристаллических ферромагнетиков. / В. Н. Костин // Дефектоскопия. – 2004. – № 1. – С. 29–38. 8. Виноградов И. М. Аналитическая геометрия. / И. М. Виноградов – М: Наука, 1986. – 172 с. 9. Захаров В. А. К теории намагничивания массивных ферромагнитных тел приставными устройствами. / В. А. Захаров // Проблемы технической электродинамики. – 1978. – № 66. – С. 81–85. 10. Захаров В. А. Магнитостатика систем с ферромагнетиками. / В. А. Захаров – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – 95 с. 11. Францевич В. М. Влияние формы наконечников магнитопровода на величину размагничивающего тока приставного коэрцитиметра. / В. М. Францевич, В. А. Захаров, Г. И. Деордиеv // Дефектоскопия. – 1975. – № 1. – С. 41–45. 12. Бида Г. В. Магнитный контроль механических свойств проката. / Г. В. Бида, Э. С. Горкунов, В. М. Шевнин – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 252 с.

УДК 621.785.33

Оцінка похибок вимірювання коерцитивної сили при структурному аналізі виробів двополюсним електромагнітом. / Власовець В. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - №50(956). С.162-168

Визначено вплив крайових ефектів (розподіл магнітного потоку при намагнічуванні виробу, наявність геометричних змін в областях намагнічування) і площа поперечного перерізу, відстані між полюсами і до котушок полюсних наконечників на похибку вимірювання коерцитивної сили при оцінці властивостей виробів неруйнівним магнітним методом. Іл.: 2. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: магнітний контроль, коерцитивної сила, похибка вимірювання, двополюсний електромагніт

UDC 621.785.33

Estimating uncertainty of measurement of the coercive force at a structural analysis of products two pole electromagnets. / Vlasovets V. M. // Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. – №50(956). P.162-168

The influence of the edge effect (magnetic flux distribution in the magnetization products, the geometric changes in the fields of magnetization) and the cross-sectional area, the distance between the poles and to the magnetizing coils pole pieces on the measurement error of the coercive force in assessing the character of articles noninvasive magnetic method. Im.: 2. Bibliogr.: 12.

Keywords: magnetic control, coercive force, measurement error, two-pole magnet

Надійшла до редакції 05.09.2012

ЗМІСТ

Мамедов Б. ІІІ.	3
Глава 9. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. вывод формул тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого изолированного профиля единичного размаха, как движителя на непрерывных потоках (краткая теория крыла самолета)	
Селиверстов В. Ю.	17
Использование расчета Стефана-Шварца для определения времени герметизации отливки в объемной песчаной форме	
Горбунов А. П., Мазанов В. Г., Мазін С. П., Мазін О. С.	22
Теоретичні дослідження паливної економічності на пасажирському маршрутному транспорті і перспективи покращення її показників	
Корытко Ю. Н.	28
Анализ напряженно-деформированного состояния при радиационной ползучести с учетом влияния периодического изменения температур и напряжений	
Бреславський Д. В., Наумов І. В., Татарінова О. А., Кипенський А. В.	33
Розрахунково-експериментальний підхід для аналізу пошкоджуваності при ударному малоцикловому навантаженні	
Порошин С. М., Котенко С. Г., Можаєв М. О.	39
Характерні особливості імовірносного розподілу трафіку телекомунікаційних мереж спеціального призначення	
Гринченко М. А.	44
Прикладна інформаційна технологія для прогнозування процесів розвитку регіональних макроекономічних систем	
Докунихин В. З., Бондарев С. И., Мельник В. В.	50
Повышение эффективности транспортного процесса в АПК путем пакетирования грузов	
Маевский Д. А.	54
Влияние вторичных дефектов на надежность динамичных информационных систем	
Савицкий А. И., Линник Е. В.	58
Идентификация стохастической составляющей тремографического сигнала	
Нечитайленко А. С., Шевченко О. В.	65
Удосконалення організації пасажирських перевезень в умовах конкуренції	

Гюлев Н.У., Доля В.К.	68
Исследование влияния факторов транспортного затора на состояние водителей	
Ивановский Н. В.	73
Применение методов робастного управления движением морского судна по курсу	
Лебедев В. В., Карев А. И., Чавров С. А.	77
Исследования влажности древесно-полимерных материалов на основе вторичных полимеров	
Бакланов Ю. Г., Питак И. В., Моисеев В. Ф., Букатенко Н. А.	79
Анализ современного газоочистного оборудования	
Щербань Н. Г.	83
Особенности нарушения микроэлементного обмена у экспериментальных животных под воздействием поверхностно-активных веществ	
Дубініна А. А., Ленерт С. О., Круглова О. С.	87
Оцінка паропроникності і водопоглинання комбінованого пакувального матеріалу на основі природних складових	
Мельник А. П. , Матвєєва, Т. В. Григорова Г. В. , Марценюк Т. І.	91
Кінетика і термодинаміка реакції амідування кукурудзяної олії діетаноламіном	
Папченко В. Ю., Гуртовий А. Н., Чуднова Т. Н.	95
Дослідження залежності в'язкості соняшникової олії від температури	
Омельченко В. С., Кричковська Л. В., Жирнова С. В., Зінченко А. В.	99
Дослідження процесу іммобілізації амілолітичних ферментів на магнітних частках Fe_3O_4	
Юрченко Г.О., Бутенко А.М.	102
Кінетика сульфатного вилучення сполук ніколу (ii) із вторинної сировини	
Чермальных А. В., Чермальных В. М., Майданский И. Я.	107
Выбор рациональных систем автоматизированного управления компрессорной станцией теплового насоса	
А. А. Жиленков, И. А. Седаков	116
Анализ влияния тиристорных выпрямителей электродвигательного комплекса судна на электроэнергетическую систему	

Терещенко Ю. М., Ластівка І. О., Дорошенко К. В.	119
Дослідження нерівномірності потоку за решітками аеродинамічних профілів з газодинамічним управлінням обтіканням	
Чайковська Є.Є.	124
Підтримка електроакумулювання на рівні прийняття рішень	
Миронов К. А., Тыньянова И. И., Гулахмадов А. А.	127
Создание высокоэффективных проточных частей высоконапорных радиально-осевых гидротурбин	
Кошельнік О. В., Заєць О. М., Кошельник В. М.	133
Особливості визначення витрати та температури продуктів згоряння у димовому тракті доменних повітронагрівачів	
Радчук О. В., Рожкова Л. Г., Казаков Д. Д.	139
Шляхи впровадження енергоустановок, що використовують альтернативні джерела енергії, на переробних підприємствах та узгодження їх вихідної потужності зі споживачем	
Сокол Е. И., Кипенский А. В., Томашевский Р. С.	146
Анализ методов программной коррекции результатов измерений, полученных с помощью турбинного преобразователя потока в спирометрической аппаратуре	
Червонный И. Ф., Щербань Г. И., Лукошников И. Е., Прутцков Д. В.	154
Определение технологических характеристик процесса электролитического получения алюминия	
Мегель Ю. Е., Левкин Д. А.	159
Аналитическое выражение распределения температуры в эмбрионе для технологии зилос	
Власовец В. М.	162
Оценка погрешностей измерения коэрцитивной силы при структурном анализе изделий двухполюсным электромагнитом	

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць
Серія:

Нові рішення в сучасних технологіях
№50(956)

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор Т.Л. Коворотний
Відповідальний за випуск: к. т. н. І. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул.. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ». Рада молодих учених і спеціалістів РМУС, тел.. (057)707-60-40, e-mail: kovotima@gmail.com

Обл.-вид. № 151-12

Підп. до друку « 30» жовтня 2012р. Формат 60x84/16. Надруковано на різографі Gestetner 6123СР. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.
Наклад 300 прим. Зам. № 50. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня "Технологічний Центр"
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4
