

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

ISSN 2079-5459

Збірка наукових праць

18'2012

**Тематичний випуск "Нові рішення в сучасних
технологіях "**

Видання засноване Національним технічним університетом «ХПІ» в 2001 году

Держвидання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики

України КВ №5256 від 02.07.2001 р.

КООРДИНАЦІЙНА РАДА

Голова

Л.Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф.

Секретар координаційної ради

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Координаційна рада

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Є.І Сокіл, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Олександров, д-р техн. наук, проф.

А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.

А.І. Грабчинко, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитрієнко, д-р техн. наук, проф.

І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.

В.В. Єпіфанов, канд. техн. наук проф.

Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.

С.І. Кондрашев, 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.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеєв, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.І. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар

Івахненко А.В. ст.викладач,

Коворотний Т.Л., асистент.,

Члени редколегії

Г.І. Львов, д-р техн. наук, проф.;

О.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.;

Л.Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;

В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.;

В.Я. Терзіян, д-р техн. наук, проф.;

М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.;

Л.Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.;

В.І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.;

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

Р.Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.;

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.;

Н.Н. Олександров, д-р техн. наук, проф.;

В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.;

Б.В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;

М.І. Погорелов, канд. екон. наук, проф.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 НТУ
«ХПІ», РМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ» -
2012. - №18. - 156с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлена теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ", Протокол №4 від 17.04.2012

Національний технічний університет „ХПІ" 2012

УДК 621-05

Т.С.САЛЫГА, асис., НТУ «ХПИ», Харьков,
А.В. КРАСИЛЬНИК., вед. инж. ОПК «Гидроэлекс», Харьков

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОТОВИЛОМ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В статье рассмотрены вопросы моделирования каскада управления регулятором расхода мотовила зерноуборочного комбайна с дистанционным пропорциональным управлением, определяются его динамические характеристики. По результатам анализа графиков переходных процессов корректируются параметры динамической структуры регулятора до достижения необходимой скорости регулирования.

У статті розглянуті питання моделювання каскаду управління регулювачем витрати мотовила зернозбирального комбайна з дистанційним пропорційним керуванням, визначаються його динамічні характеристики. За результатами аналізу графіків переходних процесів корегуються параметри динамічної структури регулювальника до досягнення необхідної швидкості регулювання.

Questions of the cascade modeling of management of expense of a reel regulator of a grain combine with remote proportional control are considered in article. The dynamic characteristics of the regulator are defined. Parameters of dynamic structure of a regulator until achievement of necessary speed of regulation are corrected as the result of the analysis of schedules of transient process.

Одним из основных направлений развития сельского хозяйства является повышение качества зерноуборочной техники и расширение ее технических возможностей. Для решения этой задачи, в частности, предлагается использовать гидравлический привод мотовила зерноуборочных комбайнов вместо существующего механического.

В данной статье рассматривается нелинейная модель каскада управления регулятором расхода с дистанционным пропорциональным управлением, определяются его динамические характеристики, которые корректируются по результатам исследования динамической структуры регулятора.

Математическая модель контура управления золотником ДРГ составлена с учетом допущения, что пульсации давления и расхода в линии питания электрогидравлического преобразователя отсутствуют.

Исходной информацией для анализа является начальный вариант функциональной схемы контура управления, которая представлена на рис.1.

В схеме приняты следующие обозначения:

1. Масштабный усилитель напряжения (МУ);
2. элемент сравнения;
3. усилитель напряжения – ток (коэффициент пропорциональности K_y);
4. пропорциональный магнит;
5. электрогидравлический преобразователь;

6. золотник дросселя регулируемого гидроуправляемого;
7. дроссель;
8. датчик положения.

$U_{\text{вх}}$ – входное задающее напряжение;
 U_{oc} – напряжение на выходе датчика положения;

$U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение;
 $p_{\text{упр}}$ – давление питания электрогидравлического преобразователя;

$p_{\text{ЭМП}}$ – давление на выходе ЭМП.

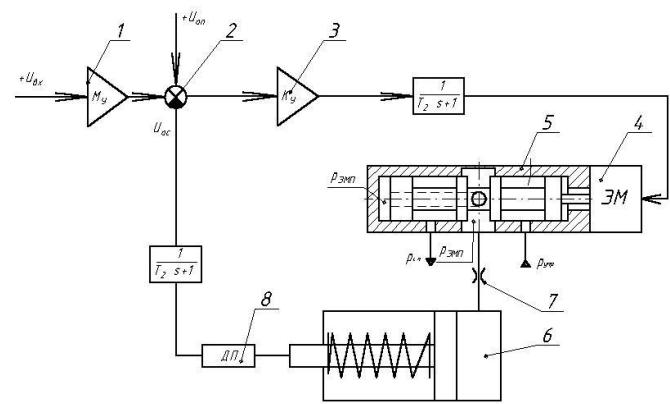


Рис.1.Функциональная схема контура управления золотником ДРГ

На основании представленной функциональной схемы составлена схема замещения контура управления золотником ДРГ для исследования при помощи пакета прикладных программ, рис. 2.

Схема замещения включает в себя модели золотника ДРГ – QДРГ, электрогидравлического преобразователя – QЭГП, апериодического звена QАПЗВ, ГДР – дросселя, а также компонента, назначение и описание которых приведено в таблице 1. Конструктивно золотник ДРГ можно представить в виде подпружиненного гидроцилиндра, принципиальная схема которого приведена на рис. 3.

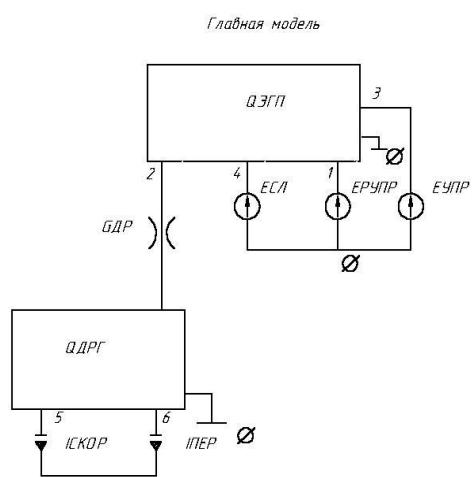


Рис. 2 .Схема замещения контура управления золотником ДРГ

Таблица1. Описание главной модели контура управления

Обозначение компонент	Назначение
ЕСЛ	Независимый источник, моделирует величину давления на сливе ЭГП
ЕРУПР	Моделирует величину давления питания рабочей жидкости, поступающее на вход ЭГП
ЕУПР	Моделирует напряжение управления, поступающее от задатчика на вход электронной системы управления
ГДР	Потребитель (рассматривает получаемую энергию), моделирует проводимость дросселя
ИСКОР	Р-интегратор. Служит для фиксации текущей скорости золотника ДРГ
ИПЕР	Служит для фиксации текущего перемещения золотника ДРГ.

Схема замещения золотника (рис.4) выполнена в виде многополюсника с четырьмя внешними полюсами: ВХ, СКОР, ПЕР, БАЗ.

К полюсу ВХ подводится поток РЖ от ЭГП. Полюс ПЕР служит для передачи в главную модель текущего перемещения золотника ДРГ. К полюсу СКОР из главной модели подключена внешняя нагрузка в виде массы движущихся частей ДРГ (сумма масс золотника, пружины и др.), а также БАЗ – является базой отсчета.

Описание компонент, входящих в состав схемы замещения золотника ДРГ, представлено в табл. 2.

Конструктивная схема ЭГП представлена на рис. 5. Преобразователь состоит из электромагнита пропорционального 1 типа ПЭМ-6, якорь которого кинематически связан с золотником 2. Золотник 2 с противоположного электромагниту торца поджат давлением обратной связи, которое равно давлению на выходе ЭГП. Диапазон хода якоря электромагнита составляет 0 – 2 мм, а ход золотника ± 1 мм от среднего положения. Диаметр золотника равен 6 мм, ширина пояска золотника равна 5 мм (положительное перекрытие в процессе моделирования будем изменять в пределах 0 – 0,3 мм). Делитель выполнен в виде оверстия диаметром 5 мм, ось которого перпендикулярна оси золотника ЭГП

К электрогидравлическому преобразователю подключается три линии:

1. к линии ВХ подключен выход редукционного клапана, поддерживающего давление питания на выходе ЭГП $p_{упр} = 16 \text{ кГ/см}^2$;
2. линия ВЫХ подключается к полости управления золотника ДРГ;
3. линия СЛИВ сообщается со сливом.

Таблица 2. Описание схемы замещения золотника ДРГ

Обозначение компонент	Назначение
I Г1	Зависимый источник расхода. Моделирует расход РЖ в полость управления золотником ДРГ, идущий на создание скорости движения золотника.
I М	Зависимый источник. Моделирует силу, действующую на золотник ДРГ в зависимости от давления на выходе ЭМП.
С М	Компонента моделирующая массу (инерционность) золотника.

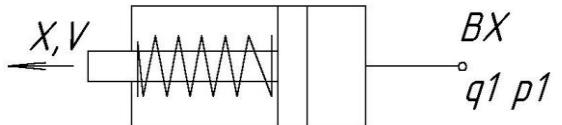


Рис. 3. Расчетная схема ДРГ

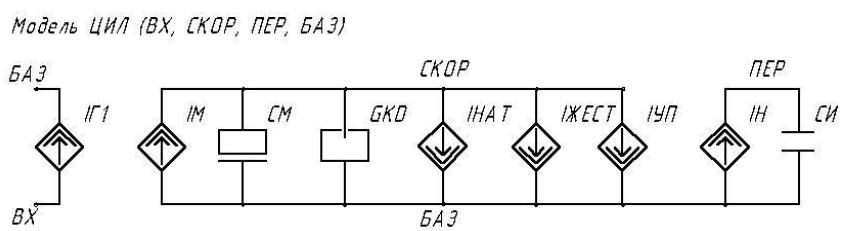


Рис. 4. Схема замещения ДРГ

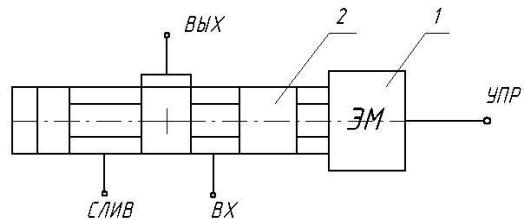


Рис.5 Принципиальная схема ЭГП

Продолжение таблицы 2

G КД	Моделирует потери силы, идущие на преодоление сил вязкостного трения в паре золотник ДРГ – втулка.
I НАТ	Моделирует силу предварительного натяжения возвратной пружины ДРГ.
I ЖЕСТ	Зависимый источник силы. Моделирует силу, действующую на золотник ДРГ со стороны пружины.
I УП	Источник силы. Служит для моделирования упоров, ограничивающих перемещение золотника ДРГ.
I H, C H	Интегратор скорости поршня. Необходим для определения текущего значения перемещения золотника ДРГ.

Схема замещения ЭГП представлена на рис. 6. Она выполнена в виде многополюсника с пятью внешними полюсами: ВХ, ВЫХ, СЛИВ, УПР, БАЗ. Полюс ВХ подключается к источнику постоянного давления РЖ, полюс ВЫХ подключается к полости управления золотником ДРГ, полюс СЛИВ соединяется со сливом, полюс УПР воспринимает сигнал, поступающий на обмотку электромагнита, полюс БАЗ является базой отсчета.

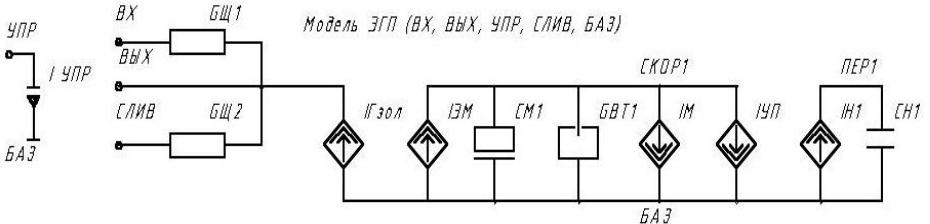


Рис.6. Схема замещения ЭГП

Описание компонент, входящих в данную схему замещения, приведено в табл.3.

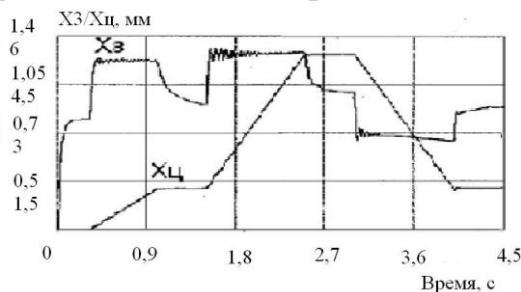
Таблица 3. Описание схемы замещения электрогидравлического преобразователя

Обозначение компонента	Назначение
I УПР	Разомкнутая дуга, служит для фиксации величины тока, подаваемого от обмотки электромагнита.
GЧ1, GЧ2	Потребители. Предназначены для определения расхода через щели 1 и 2 регулируемого дроссельного делителя.
C M1	Масса золотника ЭГП.
I M	Моделирует силу, возникающую в результате воздействия давления РЖ в полости обратной связи по давлению
I ЭМ	Моделирует силу воздействия электромагнита в зависимости от величины силы тока, подаваемого на его обмотку
G BT1	Моделирует действие сил вязкого трения.
I УП	Моделирует ограничение перемещения золотника ЭГП.
I H1, C H1	Интегратор. Служит для фиксации текущего перемещения золотника ЭГП.
I Гзол	Моделирует расход рабочей жидкости, поступающей в камеру обратной связи по давлению ЭГП при перемещении золотника.

Для моделирования динамики электронного блока управления и обмотки электромагнита в систему управления было введено апериодическое звено с передаточной функцией: $\frac{1}{T_1 s + 1}$. Поскольку конструкция электронного блока на момент исследования не разработана, то постоянную времени апериодического звена принимаем из практических соображений в диапазоне 0,005 – 0,020 с. Схема замещения апериодического звена приведена на рис.7.

Проведем машинное исследование при следующих исходных данных: $K_y = 1$, $\delta = 0,1$ мм, диаметральный зазор золотниковой пары равен 0,006мм

График переходного процесса показан на рис. 8.



Модель АПЗВ (BX , VyX , BAZ)

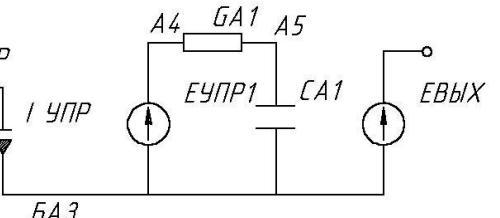


Рис. 7 . Схема замещения апериодического звена

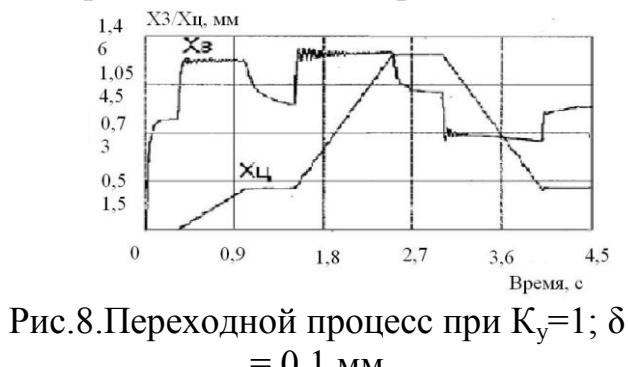


Рис.8.Переходной процесс при $K_y=1$; $\delta = 0,1$ мм

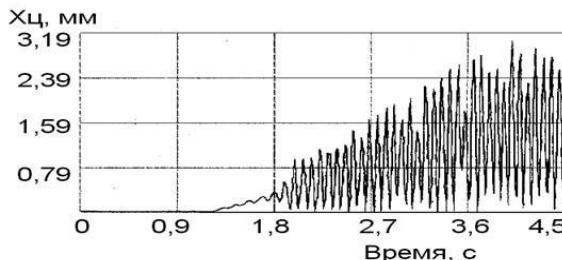


Рис. 9.Переходной процесс при $K_y=1$; $\delta = 0,1$ мм

где $X_{ц}$ – перемещение золотника ДРГ, а X_3 – перемещение золотника ЭГП. Система неустойчива, частота гармонических колебаний составляет ~ 60 Гц. Увеличив величину положительного перекрытия дроссельного делителя ($\delta = 0,3$ мм), получим график переходного процесса (рис 9.).

Система устойчива, но обладает низкой статической точностью. Характер переходного процесса золотника ДРГ – колебательный затухающий. С увеличением K_y система стремится к незатухающим колебаниям. График переходного процесса при $K_y = 2$ показан на рис.10.

Для выполнения поставленных требований к регулятору установим на выходе электрогидравлического преобразователя постоянный дроссель диаметром 0,6 – 0,8мм. Проводим машинное исследование системы при следующих условиях: $K_y=1$, $\delta=0,3$, $d_{др}=0,6$ мм.

Результат машинного исследования показан на рис.11.

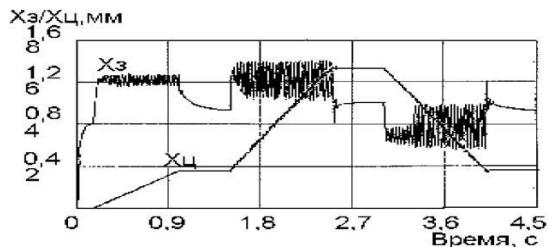


Рис.10.Переходный процесс при $K_y = 2$; $\delta = 0,3\text{мм}$

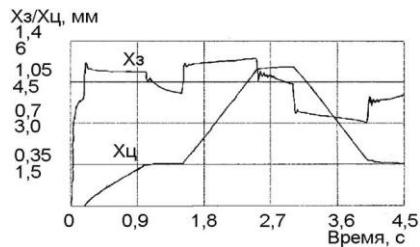


Рис. 11.Переходный процесс при $K_y=1$; $\delta=0,3\text{мм}; d_{dp}=0,6\text{мм}$

Переходный процесс регулятора – апериодический, переходный процесс ЭГП – малоколебательный. Диапазон регулирования позиции золотника ДРГ составил 0,3 и 0,7 см, что соответствует требуемому диапазону регулирования расхода.

Таким образом, динамические характеристики каскада управления удовлетворяют поставленным требованиям.

В результате выполнения машинного эксперимента были получены графики переходных процессов регулирования положения золотника дросселя регулированного гидроуправляемого. Исследование исходных графиков показало необходимость увеличения положительного перекрытия дроссельного делителя и введения дополнительного дросселя на выходе ЭГП. Величина положительного перекрытия $\delta = 0,3$ мм, диаметр дросселя $d_{dp} = 0,6$ мм. В результате время переходного процесса перемещения золотника ДРГ составило 1,1 с, погрешность позиционирования золотника ДРГ менее 1 %, что соответствует техническим требованиям к регулятору.

Список литературы: 1. Бондарь В.А. Новыерешения в гидроприводетракторов // Промислова гідравліка і пневматика. — 2003. — № 2. — С. 81 — 84. 2. Попов Д.Н.Динамика и регулированиегидро - и пневмосистем.: Учебник для ВУЗов, 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1987. — 464 с.3. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управлени. —М.: Машиностроение, 1972. — 376 с. 4. Следящие приводы. Часть 2. Под ред. Б.К. Чемоданова. — М.: Энергия, 1976.— 384 с.5. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т.Элементы гидропривода. К.: Техника, 1977. — 320 с.

Поступила в редакцию 15.03.2012

УДК 539.3

Е.Н. МИХАЙЛУЦА, ст. преп., директор центра непрерывного образования, ЗГИА, Запорожье

СТАЦИОНАРНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ОБОЛОЧКИ С УПРУГИМ СОЕДИНЕНИЕМ СЛОЕВ

Получено стационарное решение задачи о движении неосесимметричной нормальной нагрузки вдоль бесконечно длинной двухслойной цилиндрической оболочки с тонким упругим соединением. Исследовано влияние диссипативных свойств прослойки на картину напряженно-деформированного состояния конструкции.

Ключевые слова: диссипация, инерциальность прослойки, преобразование Фурье.

Отримано стационарне рішення задачі про рух невіссиметричного нормального навантаження вздовж нескінчено довгої двошарової циліндричної оболонки з тонким пружним з'єднанням.

Досліджено вплив дисипативних властивостей прошарку на картину напруженодеформованого стану конструкції.

Ключові слова: дисипація, інерціальність прошарку, перетворення Фур'є.

Obtained a stationary solution of the problem of motion nonaxisymmetric normal load along an infinitely long two-layer cylindrical shell with a thin elastic coupling. The influence of the dissipative properties of the layer at a picture of the stress-strain state of structures is investigated.

Keywords: dissipation, inertiality of the interlayer, Furie transform.

1. Введение

Составляющие элементы конструкций, моделями которых являются двухслойные оболочки, нашли широкое применение в современной авиационной и космической технике, судостроении, строительстве инженерных сооружений. Задачи исследования динамических характеристик таких конструкций возникают при проектировании подземных и подводных емкостей и трубопроводов, облицовки тоннелей метро, разработке элементов твердотопливных двигателей и т.п. В процессе эксплуатации составные конструкции подобного вида подвергаются динамическим нагрузкам, которые вызывают в них колебания и стационарные волновые процессы. В наше время, когда значительно увеличились требования к точности расчетов, возрастает роль динамического моделирования работы конструкций подобного рода. Поэтому построение моделей динамического поведения таких конструкций и разработка эффективных методов расчета представляет собой актуальную задачу механики деформируемого твердого тела.

При анализе задач о воздействии подвижных нагрузок на слоистые среды, в основном, рассматривались докритические скорости движения нагрузок в предположении о некотором идеальном (жестком или скользящем) контакте между слоями [1]. Однако на практике между слоями часто существует прослойка (склейка), обладающая гибкостью и имеющая отличные от несущих слоев характеристики, влиянием которой не стоит пренебрегать. В работах Jones и Whittier [3] рассмотрено распространение волн в двух полупространствах, соединенных подобной прослойкой. Данная связь инерциальна и при ее моделировании нормальное и касательное напряжения зависят от разности соответствующих перемещений.

2. Постановка задачи и результаты исследования

В данной работе исследуется случай движения по внутренней стороне бесконечно длинной двухслойной цилиндрической оболочки самоуравновешенных нагрузок, перемещающихся с постоянной скоростью в осевом направлении. Рассматриваемая конструкция состоит из неодинаковых по механическим параметрам слоев с тонким упругим соединением, характеристики которого отличны от каждого из слоев, т.е. контакт между слоями цилиндрической оболочки принимается неидеальным. Рассматриваются подвижные нагрузки типа волны давления, т.е. инерция движущихся объектов не учитывается, процесс будем считать установившимся, а получаемые решения являются инвариантными относительно времени в подвижной системе координат.

Движение слоев двухслойной конструкции описывается динамическими уравнениями теории упругости, которые в векторной форме имеют вид [1]:

$$\mathbf{U}_k + 2\mu_k \operatorname{grad} \operatorname{div} \bar{\mathbf{U}}^{(k)} - \mu_k \operatorname{rot} \operatorname{rot} \bar{\mathbf{U}}^{(k)} = \rho_k \frac{\partial^2 \bar{\mathbf{U}}^{(k)}}{\partial t^2} \quad (1)$$

Здесь $\bar{\mathbf{U}}^{(k)} = (U_x^{(k)}, U_\theta^{(k)}, U_r^{(k)})$ – вектор перемещения точек точек k-го слоя оболочки, где $k=1$ относится к внутреннему, а $k=2$ – к наружному слою конструкции, λ_k, μ_k – параметры Ламе; ρ_k, v_k, G_k – плотность, коэффициент Пуассона и модуль сдвига слоев. При рассмотрении установившегося процесса применяется преобразование Галилея $\eta = \frac{x - ct}{d}$, с помощью которого в рассматриваемых стационарных задачах исключается независимая переменная времени t и вводится в уравнения параметр – скорость движения нагрузки c . В подвижной системе координат, определяемой указанным выше преобразованием, задача сводится к интегрированию уравнения движения слоев при выполнении следующих граничных условий на поверхностях слоев:

$$\text{при } r = d \quad \sigma_{rx} = 0, \quad \sigma_{rr} = -F, \quad \sigma_{r\theta}^{(2)} = 0, \quad (2)$$

$$\text{при } r = a \quad \sigma_{rx} = 0, \quad \sigma_{rr} = F, \quad \sigma_{r\theta}^{(1)} = 0,$$

$$\text{при } r = b \quad \sigma_{rr}^{(1)} = \sigma_{rr}^{(2)}, \quad \sigma_{rx}^{(1)} = \sigma_{rx}^{(2)}, \quad \sigma_{r\theta}^{(1)} = \sigma_{r\theta}^{(2)},$$

$$\sigma_{rr}^{(1)} = \left[\frac{E}{h} + \eta_N \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \right] (U_r^{(1)} - U_r^{(2)}), \quad \sigma_{rx}^{(1)} = \left[\frac{G}{h} + \eta_S \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \right] (U_x^{(1)} - U_x^{(2)}), \quad (2)$$

$$\sigma_{r\theta}^{(1)} = \left[\frac{G}{h} + \eta_S \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \right] (U_\theta^{(1)} - U_\theta^{(2)}),$$

где k_N, k_S, η_N, η_S – коэффициенты жесткости и демпфирования прослойки в нормальном и касательном направлениях.

Преобразуем уравнения движения слоев, вводя потенциальные функции по формулам:

$$\begin{aligned} U_r^{(k)} &= \frac{\partial \phi^{(k)}}{\partial r} - \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial x \partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \chi^{(k)}}{\partial \theta}, \\ U_\theta^{(k)} &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \phi^{(k)}}{\partial \theta} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial x \partial \theta} \psi^{(k)} - \frac{\partial \chi^{(k)}}{\partial r}, \\ U_x^{(k)} &= \frac{\partial \phi^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \psi^{(k)}}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial \theta^2} \end{aligned} \quad (3)$$

В этом случае компоненты напряжения через потенциальные функции запишутся в виде:

$$\begin{aligned}
\frac{\sigma_{rr}^{(k)}}{G_k} &= \frac{\lambda}{\mu} \cdot \left(\frac{\partial^2 \varphi^{(k)}}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi^{(k)}}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi^{(k)}}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi^{(k)}}{\partial r^2} \right) + \\
&\quad + 2 \cdot \left(\frac{\partial^2 \varphi^{(k)}}{\partial r^2} - \frac{\partial^3 \psi^{(k)}}{\partial x \partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 \chi^{(k)}}{\partial \theta \partial r} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial \chi^{(k)}}{\partial \theta} \right), \\
\frac{\sigma_{r\theta}^{(k)}}{G_k} &= -\frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial \varphi^{(k)}}{\partial \theta} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial^2 \varphi^{(k)}}{\partial \theta \partial r} - \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial^3 \psi^{(k)}}{\partial r \partial x \partial \theta} + \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial x \partial \theta} + \\
&\quad + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \chi^{(k)}}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \chi^{(k)}}{\partial \theta^2} - \frac{\partial^2 \chi^{(k)}}{\partial r^2}, \\
\frac{\sigma_{rx}^{(k)}}{G_k} &= 2 \frac{\partial^2 \varphi^{(k)}}{\partial x \partial r} + \frac{\partial^3 \psi^{(k)}}{\partial r^3} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^3 \psi^{(k)}}{\partial r \partial \theta^2} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial \psi^{(k)}}{\partial r} - \\
&\quad - \frac{2}{r^3} \cdot \frac{\partial^2 \psi^{(k)}}{\partial \theta^2} - \frac{\partial^3 \psi^{(k)}}{\partial r \partial x^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 \chi^{(k)}}{\partial x \partial \theta}.
\end{aligned} \tag{4}$$

Для дальнейших вычислений перейдем к безразмерным переменным, отнеся все линейные величины к наружному радиусу составной оболочки d :

$$\Phi_\theta^*, U_r^*, U_x^* \xrightarrow[d]{\frac{1}{d}} \Phi_\theta, U_r, U_x, \quad \kappa_s = \frac{h_1}{h_2}, \quad \kappa_{s1} = \frac{h}{h_2}, \quad \gamma_1 = \frac{G}{G_2}, \quad \gamma = \frac{G_2}{G_1},$$

$$\rho = \frac{\rho_2}{\rho_1},$$

$$\varepsilon_1 = \frac{a}{d} = 1 - \kappa_1 - \kappa_2, \quad \varepsilon_2 = \frac{b}{d} = 1 - \kappa_2, \quad \kappa_1 = \frac{h_1}{d}, \quad \kappa_2 = \frac{h_2}{d}, \quad h_1 = b - a, \quad h_2 = d - b,$$

где h_1, h_2 – толщины внутреннего и внешнего слоя оболочки соответственно.

Далее, для решения уравнений движения слоев оболочки (1) применим комплексное преобразование Фурье по переменной η и разложим потенциальные функции в ряды Фурье по формулам:

$$\varphi(\zeta, \psi) \xrightarrow[n=0]{\sum^\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(\zeta, \psi_n) \cos(n\theta), \quad \chi(\zeta) \xrightarrow[n=1]{\sum^\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \chi_n(\zeta) \sin(n\theta). \tag{5}$$

В результате тензор перемещения слоев цилиндрической оболочки и тензор напряжения запишутся в виде:

$$\begin{aligned}
U_{r,n}^{(k)}(\zeta, \xi) &= \frac{d\varphi_n^{(k)}}{dr} - i \frac{\xi}{d} \frac{d\psi_n^{(k)}}{dr} + \frac{n}{r} \chi_n^{(k)}, \quad U_{\theta,n}^{(k)}(\zeta, \xi) = -\frac{n}{r} \varphi_n^{(k)} + i \frac{\xi}{d} \frac{n}{r} \psi_n^{(k)} - \frac{d\chi_n^{(k)}}{dr}, \\
U_{x,n}^{(k)}(\zeta, \xi) &= i \frac{\xi}{d} \varphi_n^{(k)} + \frac{d^2 \psi_n^{(k)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\psi_n^{(k)}}{dr} - \frac{n^2}{r^2} \psi_n^{(k)},
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{rr,n}^{(k)} \left[\xi \right] &= \lambda_k \left(\frac{d^2 \varphi_n^{(k)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\varphi_n^{(k)}}{dr} - \frac{n^2}{r^2} \varphi_n^{(k)} - \frac{\xi^2}{d^2} \varphi_n^{(k)} \right) + \\
&+ 2\mu_k \left(\frac{d^2 \psi_n^{(k)}}{dr^2} - i \frac{\xi}{d} \frac{d^2 \psi_n^{(k)}}{dr^2} + \frac{n}{r} \frac{d\chi_n^{(k)}}{dr} - \frac{n}{r^2} \chi_n^{(k)} \right), \\
\sigma_{rx,n}^{(k)} \left[\xi \right] &= \mu_k \left(2i \frac{\xi}{d} \frac{d\varphi_n^{(k)}}{dr} + \frac{d^3 \psi_n^{(k)}}{dr^3} + \frac{1}{r} \frac{d^2 \psi_n^{(k)}}{dr^2} - \frac{n^2 + 1}{r^2} \frac{d\psi_n^{(k)}}{dr} + \right. \\
&\left. + \frac{2n^2}{r^3} \psi_n^{(k)} + \frac{\xi^2}{d^2} \frac{d\psi_n^{(k)}}{dr} + i \frac{n\xi}{dr} \chi_n^{(k)} \right), \\
\sigma_{r\theta,n}^{(k)} \left[\xi \right] &= \mu_k \left[\frac{2n}{r} \left(\frac{\varphi_n^{(k)}}{r} - \frac{d\varphi_n^{(k)}}{dr} \right) + i \frac{2n\xi}{dr} \frac{d\psi_n^{(k)}}{dr} - i \frac{2n\xi}{dr^2} \psi_n^{(k)} + \right. \\
&\left. + \frac{1}{r} \frac{d\chi_n^{(k)}}{dr} - \frac{n^2}{r^2} \chi_n^{(k)} - \frac{d^2 \chi_n^{(k)}}{dr^2} \right],
\end{aligned}$$

а для уравнений движения слоев получим видоизмененные волновые уравнения вида:

$$\begin{aligned}
\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} - \left(\frac{n^2}{r^2} + \frac{m_k^2 \xi^2}{d^2} \right) \right) \varphi_n^{(k)} &= 0, \\
\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} - \left(\frac{n^2}{r^2} + \frac{m_{sk}^2 \xi^2}{d^2} \right) \right) \psi_n^{(k)}, \chi_n^{(k)} &= 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

в которых

$$m_1 = \sqrt{1 - \theta_1 c^*{}^2}, m_2 = \sqrt{1 - \frac{\rho}{\gamma} \theta_2 c^*{}^2}, m_{s1} = \sqrt{1 - c^*{}^2}, m_{s2} = \sqrt{1 - \frac{\rho}{\gamma} c^*{}^2}, \theta_k = \frac{1 - 2v_k}{2(1 - v_k)}.$$

Решения волновых уравнений являются линейной комбинацией функций Бесселя от мнимого аргумента первого и второго рода n-го порядка:

$$\begin{aligned}
\varphi_n^{(k)} \left[\xi \right] &= A_n^{(k)} J_n(\xi r) + B_n^{(k)} I_n(\xi r), \\
\psi_n^{(k)} \left[\xi \right] &= C_n^{(k)} J_n(m_{sk}\xi r) + D_n^{(k)} I_n(m_{sk}\xi r), \\
\chi_n^{(k)} \left[\xi \right] &= E_n^{(k)} J_n(m_{sk}\xi r) + S_n^{(k)} I_n(m_{sk}\xi r)
\end{aligned} \tag{8}$$

Тогда для каждого слоя двухслойной конструкции компоненты тензора перемещения и напряжения примут вид:

$$\begin{aligned}
U_{x,n}^{(k)} &= i\eta K_n J_n(\eta r^*) A_n^{(k)} + i\eta I_n J_n(\eta r^*) B_n^{(k)} + m_{sk}^2 \eta^2 K_n I_n(\eta r^*) C_n^{(k)} + \\
&+ m_{sk}^2 \eta^2 I_n J_n(\eta r^*) D_n^{(k)},
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
U_{r,n}^{(k)} &= \left[\frac{n}{r^*} K_n \left(n_k \eta r^* \right) - m_k \eta K_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) \right] A_n^{(k)} + \left[\frac{n}{r^*} I_n \left(n_k \eta r^* \right) + m_k \eta I_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) \right] B_n^{(k)} - \\
&- i\eta \left[\frac{n}{r^*} K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - m_{sk} \eta K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] C_n^{(k)} - i\eta \left[\frac{n}{r^*} I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + m_{sk} \eta I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] D_n^{(k)} + \\
&+ \frac{n}{r^*} K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) E_n^{(k)} + \frac{n}{r^*} I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) S_n^{(k)}, \\
U_{\theta,n}^{(k)} &= -\frac{n}{r^*} K_n \left(n_k \eta r^* \right) A_n^{(k)} + \frac{n}{r^*} I_n \left(n_k \eta r^* \right) B_n^{(k)} + \frac{i\eta}{r^*} K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) C_n^{(k)} + \\
&+ \frac{i\eta}{r^*} I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) D_n^{(k)} - \left[\frac{n}{r^*} K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - m_{sk} \eta K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] E_n^{(k)} - \\
&- \left[\frac{n}{r^*} I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + m_{sk} \eta I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] S_n^{(k)}, \\
\frac{\sigma_{rr,n}^{(k)}}{G_k} &= \left[\left(\zeta + m_{sk}^2 \right) \frac{\eta^2}{r^2} + \frac{2n\zeta - 1}{r^2} \right] K_n \left(n_k \eta r^* \right) + \frac{2m_k \eta}{r} K_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) A_n^{(k)} + \\
&+ \left[\left(\zeta + m_{sk}^2 \right) \frac{\eta^2}{r^2} + \frac{2n\zeta - 1}{r^2} \right] I_n \left(n_k \eta r^* \right) - \frac{2m_k \eta}{r} I_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) B_n^{(k)} - \\
&- 2i\eta \cdot \left[\left(\frac{n\zeta - 1}{r^2} + m_{sk}^2 \eta^2 \right) K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + \frac{m_{sk} \eta}{r} K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] C_n^{(k)} - \\
&- 2i\eta \cdot \left[\left(\frac{n\zeta - 1}{r^2} + m_{sk}^2 \eta^2 \right) I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - \frac{m_{sk} \eta}{r} I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] D_n^{(k)} + \\
&+ 2 \frac{n}{r} \cdot \left[\frac{n-1}{r} K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - m_{sk} \eta K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] E_n^{(k)} - \\
&+ 2 \frac{n}{r} \cdot \left[\frac{n-1}{r} I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + m_{sk} \eta I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] S_n^{(k)}, \\
\frac{\sigma_{r\theta,n}^{(k)}}{G_k} &= \frac{2n}{r^2} \cdot \left(-n \right) \bar{K}_n \left(n_k \eta r^* \right) + m_k \eta r K_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) A_n^{(k)} + \\
&+ \frac{2n}{r^2} \cdot \left(-n \right) \bar{I}_n \left(n_k \eta r^* \right) - m_k \eta r I_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) B_n^{(k)} + \\
&+ i\eta \frac{2n}{r^2} \cdot \left(-n \right) \bar{K}_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + m_{sk} \eta r K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) C_n^{(k)} + \\
&+ i\eta \frac{2n}{r^2} \cdot \left(-n \right) \bar{I}_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - m_{sk} \eta r I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) D_n^{(k)} - \\
&- \frac{2}{r^2} \cdot \left[\left(n\zeta - 1 \right) + \frac{1}{2m_{sk}^2 \eta^2 r^2} \right] K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + m_{sk} \eta r K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) E_n^{(k)} - \\
&- \frac{2}{r^2} \cdot \left[\left(n\zeta - 1 \right) + \frac{1}{2m_{sk}^2 \eta^2 r^2} \right] I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - m_{sk} \eta r I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) S_n^{(k)},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\sigma_{rx,n}^{(k)}}{G_k} = & 2i\eta \cdot \left(\left[\frac{n}{r} K_n \left(n_k \eta r^* \right) - m_{sk} \eta K_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) \right] A_n^{(k)} + \right. \\
& + \left. \left[\frac{n}{r} I_n \left(n_k \eta r^* \right) + m_{sk} \eta I_{n+1} \left(n_k \eta r^* \right) \right] B_n^{(k)} \right) + \\
& + \left(+ m_{sk}^2 \eta^2 \cdot \left[\frac{n}{r} K_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) - m_{sk} \eta K_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] C_n^{(k)} + \right. \\
& + \left. \left[+ m_{sk}^2 \eta^2 \cdot \left[\frac{n}{r} I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) + m_{sk} \eta I_{n+1} \left(n_{sk} \eta r^* \right) \right] D_n^{(k)} \right. \right. + \\
& \left. \left. + i \frac{\eta n}{r} \cdot \left(n_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) E_n^{(k)} + I_n \left(n_{sk} \eta r^* \right) S_n^{(k)} \right) \right)
\end{aligned}$$

Используя полученные выражения для тензора перемещения и напряжения слоев двухслойной оболочки в пространстве изображений, удовлетворяя граничным условиям (2). В результате громоздких, но несложных преобразований получаем систему двенадцати линейных комплексных уравнений. Проводя затем замену искомых коэффициентов по формулам:

$$\begin{aligned}
A_n^{(1)*} &= K_{n+1} \left(n_1 \xi \varepsilon_1 \right) \bar{A}_n^{(1)}, & B_n^{(1)*} &= I_{n+1} \left(n_1 \xi \varepsilon_1 \right) \bar{B}_n^{(1)}, \\
C_n^{(1)*} &= K_{n+1} \left(n_{s1} \xi \varepsilon_1 \right) \bar{C}_n^{(1)}, & D_n^{(1)*} &= I_{n+1} \left(n_{s1} \xi \varepsilon_1 \right) \bar{D}_n^{(1)}, \\
E_n^{(1)*} &= K_{n+1} \left(n_{s1} \xi \varepsilon_1 \right) \bar{E}_n^{(1)}, & S_n^{(1)*} &= I_{n+1} \left(n_{s1} \xi \varepsilon_1 \right) \bar{S}_n^{(1)}, \\
A_n^{(2)*} &= K_{n+1} \left(n_2 \xi \right) \bar{A}_n^{(2)}, & B_n^{(2)*} &= I_{n+1} \left(n_2 \xi \right) \bar{B}_n^{(2)}, \\
C_n^{(2)*} &= K_{n+1} \left(n_{s2} \xi \right) \bar{C}_n^{(2)}, & D_n^{(2)*} &= I_{n+1} \left(n_{s2} \xi \right) \bar{D}_n^{(2)}, \\
E_n^{(2)*} &= K_{n+1} \left(n_{s2} \xi \right) \bar{E}_n^{(2)}, & S_n^{(2)*} &= I_{n+1} \left(n_{s2} \xi \right) \bar{S}_n^{(2)},
\end{aligned}$$

решаем полученную систему численно на ЭВМ методом Гаусса путем замены каждого комплексного уравнения парой действительных. В результате определялись действительная и мнимая части неизвестных $A_n^{(k)*}, B_n^{(k)*}, C_n^{(k)*}, D_n^{(k)*}, E_n^{(k)*}, S_n^{(k)*}$, $k=1,2$ в зависимости от вида приложенной нагрузки. Выражения для компонент перемещения и напряжения в любой точке конструкции в пространстве изображений примут вид:

$$U_r^{(1)} = \frac{F}{G_1} \cdot \left(T_{1Re} \left(\zeta, r^* \right) + iT_{1Im} \left(\zeta, r^* \right) \right), \quad \sigma_r^{(1)} = F \cdot \left(T_{2Re} \left(\zeta, r^* \right) + iT_{2Im} \left(\zeta, r^* \right) \right), \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
\text{где } T_{1Re} \left(\zeta, r^* \right) = & \left[\frac{n}{r^*} S_{29} - m_1 \xi S_{30} \right] \operatorname{Re} \left(A_n^{(1)*} \right) + \left[\frac{n}{r^*} S_{31} + m_1 \xi S_{32} \right] \operatorname{Re} \left(B_n^{(1)*} \right) - \\
& - \xi \left[\frac{n}{r^*} S_{33} - m_{s1} \xi S_{34} \right] \operatorname{Im} \left(C_n^{(1)*} \right) - \xi \left[\frac{n}{r^*} S_{35} + m_{s1} \xi S_{36} \right] \operatorname{Im} \left(D_n^{(1)*} \right) + \\
& + \frac{n}{r^*} S_{33} \operatorname{Re} \left(E_n^{(1)*} \right) + \frac{n}{r^*} S_{35} \operatorname{Re} \left(S_n^{(1)*} \right),
\end{aligned}$$

$$T_{1Im} \left(\zeta, r^* \right) = \left[\frac{n}{r^*} S_{29} - m_1 \xi S_{30} \right] \operatorname{Im} \left(A_n^{(1)*} \right) + \left[\frac{n}{r^*} S_{31} + m_1 \xi S_{32} \right] \operatorname{Im} \left(B_n^{(1)*} \right) +$$

$$\begin{aligned}
& + \xi \left[\frac{n}{r^*} S_{33} - m_{s1} \xi S_{34} \right] \operatorname{Re}\left(C_n^{(1)*}\right) + \xi \left[\frac{n}{r^*} S_{35} + m_{s1} \xi S_{36} \right] \operatorname{Re}\left(D_n^{(1)*}\right) + \\
& \quad + \frac{n}{r^*} S_{33} \operatorname{Im}\left(E_n^{(1)*}\right) + \frac{n}{r^*} S_{35} \operatorname{Im}\left(S_n^{(1)*}\right), \\
T_2 \operatorname{Re} (\zeta, r^*) &= \left(\left[\left(+ m_{s1}^2 \xi^2 + \frac{2n(\zeta-1)}{r^{*2}} \right) S_{29} + \frac{2m_1 \xi}{r^*} S_{30} \right] \operatorname{Re}\left(A_n^{(1)*}\right) + \right. \\
& \quad + \left. \left[\left(+ m_{s1}^2 \xi^2 + \frac{2n(\zeta-1)}{r^{*2}} \right) S_{31} - \frac{2m_1 \xi}{r^*} S_{32} \right] \operatorname{Re}\left(B_n^{(1)*}\right) - \right. \\
& \quad \left. - 2\xi \left[\left(\frac{n(\zeta-1)}{r^{*2}} + m_{s1}^2 \xi^2 \right) S_{33} + \frac{m_{s1} \xi}{r^*} S_{34} \right] \operatorname{Im}\left(C_n^{(1)*}\right) - \right. \\
& \quad \left. - 2\xi \left[\left(\frac{n(\zeta-1)}{r^{*2}} + m_{s1}^2 \xi^2 \right) S_{35} - \frac{m_{s1} \xi}{r^*} S_{36} \right] \operatorname{Im}\left(D_n^{(1)*}\right) + \right. \\
& \quad \left. + 2 \frac{n}{r^*} \left[\frac{n-1}{r^*} S_{33} - m_{s1} \xi S_{34} \right] \operatorname{Re}\left(E_n^{(1)*}\right) + 2 \frac{n}{r^*} \left[\frac{n-1}{r^*} S_{35} + m_{s1} \xi S_{36} \right] \operatorname{Re}\left(S_n^{(1)*}\right) \right), \\
T_2 \operatorname{Im} (\zeta, r^*) &= \left(\left[\left(+ m_{s1}^2 \xi^2 + \frac{2n(\zeta-1)}{r^{*2}} \right) S_{29} + \frac{2m_1 \xi}{r^*} S_{30} \right] \operatorname{Im}\left(A_n^{(1)*}\right) + \right. \\
& \quad + \left. \left[\left(+ m_{s1}^2 \xi^2 + \frac{2n(\zeta-1)}{r^{*2}} \right) S_{31} - \frac{2m_1 \xi}{r^*} S_{32} \right] \operatorname{Im}\left(B_n^{(1)*}\right) + \right. \\
& \quad \left. + 2\xi \left[\left(\frac{n(\zeta-1)}{r^{*2}} + m_{s1}^2 \xi^2 \right) S_{33} + \frac{m_{s1} \xi}{r^*} S_{34} \right] \operatorname{Re}\left(C_n^{(1)*}\right) + \right. \\
& \quad \left. + 2\xi \left[\left(\frac{n(\zeta-1)}{r^{*2}} + m_{s1}^2 \xi^2 \right) S_{35} - \frac{m_{s1} \xi}{r^*} S_{36} \right] \operatorname{Re}\left(D_n^{(1)*}\right) + \right. \\
& \quad \left. + 2 \frac{n}{r^*} \left[\frac{n-1}{r^*} S_{33} - m_{s1} \xi S_{34} \right] \operatorname{Im}\left(E_n^{(1)*}\right) + 2 \frac{n}{r^*} \left[\frac{n-1}{r^*} S_{35} + m_{s1} \xi S_{36} \right] \operatorname{Im}\left(S_n^{(1)*}\right) \right)
\end{aligned}$$

Дальнейший ход алгоритма заключается в суммировании рядов Фурье по угловой координате с последующим обратным преобразованием Фурье, которое необходимо произвести после подстановки выражения для нагрузки.

В качестве примера выберем нагрузку, приложенную к внутренней стороне оболочки симметрично относительно центра. Рассматривался случай приложения двух равных нагрузок F при $\theta = 0$ и $\theta = \pi$. Аналитически каждая нагрузка имеет вид:

$$F = F_0 \cdot h(\zeta) \delta(\theta - \theta_k) \quad (11)$$

где $h(\zeta) = \begin{cases} 1, & |\zeta| \leq a^* \\ 0, & |\zeta| > a^* \end{cases}$, $a^* = \frac{a}{d}$, $\delta(\theta - \theta_k)$ – дельта-функция Дирака.

Применим к нагрузке преобразование Фурье по пространственной координате и разложение в ряд Фурье по угловой координате:

$$F^\Phi = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{F_0}{G_1} \frac{\sin(\alpha^*)}{\xi} \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cos(n\theta) \quad (12)$$

здесь $b_n = \frac{1}{\pi} \int \delta(\theta - \pi) \cos(n\theta) d\theta = \frac{2}{\pi} \cdot (-1)^n$

Заключительный этап алгоритма заключается в подстановке выражения для нагрузки (12) в (10) и возвращения в пространство оригиналов. Для этого суммируем ряды Фурье, после чего применяем обратное преобразование Фурье. В качестве примера, приведем окончательные выражения для радиального перемещения:

$$\begin{aligned} U_r^{(1)\Phi} &= \frac{1}{G_1} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{F_0}{\xi} \sum_{n=0}^{\infty} b_n \left(G_{1\text{Re}}(\xi, r^*) + i \cdot G_{1\text{Im}}(\xi, r^*) \right) \cos(n\theta), \\ U_r^{(1)} &= \frac{1}{G_1} \frac{F_0}{\pi} \left[\int_{0=\xi}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} b_n \left(G_{1\text{Re}}(\xi, r^*) + iT_{\text{lim}}(\xi, r^*) \cos(n\theta) \right) \frac{\sin(\alpha^*)}{\xi} \cos(n\eta) - i \sin(n\eta) d\xi + \right. \\ &\quad \left. + \int_{0=\xi}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} b_n \left(G_{1\text{Re}}(\xi, r^*) + iT_{\text{lim}}(\xi, r^*) \cos(n\theta) \right) \frac{\sin(\alpha^*)}{\xi^*} \cos(n\eta) - i \sin(n\eta) d\xi^* \right], \xi^* = -\xi. \end{aligned}$$

Полученные интегралы вычислялись численно на основе алгоритма с применением метода Файлона [2]. Верхний предел и шаг интегрирования по пространственной координате определялись опытным путем с условием обеспечения по всем искомым величинам заданной относительной точности.

Напряженно – деформированное состояние конструкции исследовалось при следующих значениях безразмерных параметров: $\nu = \nu_1 = \nu_2 = 0.3$, $\kappa_s = 10$, $\kappa_{s1} = 0.1$, $\gamma_1 = 0.001$, $\gamma_x^* = \gamma_z^* = 100$.

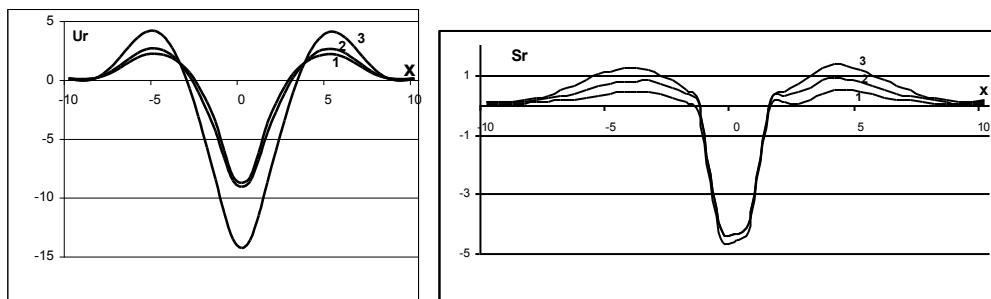


Рис.1. Влияние жесткости оболочки на распределение перемещения и напряжения по осевой координате

При проведении численных экспериментов основное внимание уделялось картине установившегося процесса в точке под серединой нагрузки на границе раздела слоев конструкции. Исследовалось влияние физических и механических характеристик модели на распределение компонент напряженно–деформированного состояния. Построены картины распределения нормальной составляющей напряжения, а также нормальной компоненты перемещения по осевой координате.

Рис.1 иллюстрирует влияние относительной жесткости слоев оболочки на картину установившегося процесса. При этом кривые 1–3 соответствуют $\gamma = \rho = 100, 150, 200$ при $c^* = 0.3, a^* = 1, \kappa_2 = 0.004$ соответственно

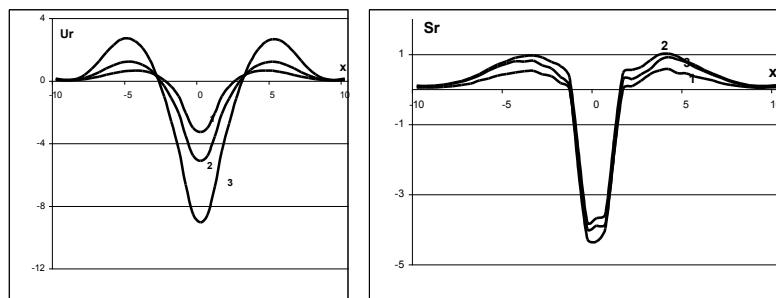


Рис.2. Зависимость нормального напряжения от скорости движения Нагрузки

Влияние скорости движения нагрузки на картину деформации представлено на рисунке 2. Аналогично предыдущим рисункам графики построены для следующих значений безразмерной скорости движения нагрузки: $c^* = 0.1, 0.2, 0.3$, при $\gamma = \rho = 150$.

3. Выводы

Рассмотрена стационарная задача динамики двухслойной цилиндрической оболочки с упругой прослойкой. Основной акцентделен рассмотрению особенностей влияния несовершенной связи между неодинаковыми по механическим характеристикам слоями. Разработан и апробирован алгоритм, позволяющий рассчитывать значения компонент напряженно-деформированного состояния в произвольной точке конструкции с упругим соединением слоев.

В результате исследований получены графики, наглядно демонстрирующие влияние податливости соединения на закономерности распределения перемещения и напряжения. Показано, что учет податливости склейки и наличия диссипации позволяет более точно описывать динамическую картину деформации слоистой конструкции.

Список литературы: 1. Горшков А.Г. Стационарные задачи динамики многослойных конструкций / Пожуев В.И. –М.: Машиностроение, 1992. -224 с. 2. Крылов В.И. Методы приближенного преобразования Фурье и обращения Лапласа / Скобля Н.С. – М.: Наука, 1974. –223с. 3. Jones J.P. Waves at a flexibly bonded interface / Whitter J.S. // Trans/ ASME. Ser.E. J. Appl. Mech. –1967. –V. 34, №4. –P. 178–183.

Поступила в редакцию 15.03.2012

УДК 621.735

Т.Н. КОВШАНОВА, маг., НТУ «ХПИ», Харьков,
В.Н. ЛЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц, НТУ «ХПИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «КРЫШКА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проведено математическое моделирование процесса штамповки поковки на молоте с использованием пакета Deform-3D. Изложены результаты теоретического исследования течения металла цилиндрических заготовок в полость штампа в зависимости от скорости деформирования.

Проведено математичне моделювання процесу штампування поковки на молоті з використанням пакета Deform-3D. Викладено результати теоретичного дослідження перебігу металу циліндричних заготовок в порожнину штампа в залежності від швидкості деформування.

Mathematical modeling of the stamping process of forging the hammer using the package Deform-3D. The results of theoretical investigations of metal flow in a cylindrical cavity of the die blanks, depending on the strain rate.

Разработка технологии горячей штамповки традиционными методами требует длительного времени, затрат труда, материалов, использования оборудования для проведения пробных штамповок и т. п.

Появление систем конечно-элементного моделирования позволяет находить необходимые решения, сокращая значительно время и затраты на разработку технологии горячей штамповки [1].

Целью данной работы является определение оптимальных параметров заготовки для ГОШ детали типа «Крышка», а также определение параметров, обеспечивающих получение бездефектных поковок.

Исследование данного технологического процесса осуществляли при помощи системы конечно-элементного моделирования Deform-3D [2].

Данная поковка изготавливается штамповкой на молоте с массой падающих частей, равной 2 т.

Точное моделирование процесса штамповки на молоте требует достаточного количества данных о молоте и задания некоторых дополнительных параметров расчета. Поэтому вначале для упрощения скорость штампа была принята постоянной. Это позволило определить полное усилие, необходимое для изготовления детали, а также изучить кинематику течения металла.

Для проектирования процесса в КОМПАС-3Д были смоделированы геометрия заготовки и штамповой оснастки, которая включает в себя верхний и нижний штампы.

В качестве исходного материала для ГОШ стальных поковок использовали прокат круглого поперечного сечения по ГОСТ 2590. В качестве деформируемого материала заготовки использовалась Сталь 45. Температура нагрева под штамповку – 1250°C.

Так как поковка относится к поковкам второй группы, для штамповки используем штучную заготовку с размерами:

- высота $h=128$ мм;
- диаметр $d=80$ мм.

Основным дефектом, возникающим при штамповке высоких поковок, является незаполнение верхнего штампа, главным образом у выступов, углов, закруглений и ребер. В процессе исследования было установлено, что скорость деформирования оказывает существенное влияние на характер течения металла. Процесс был смоделирован для скорости 5 мм/с (рис. 1а) и 150 мм/с (рис. 2а) для поковки с отношением высоты к диаметру $h/d=0,5$, и (рис. 1б, 2б) для тех же скоростей для поковки с отношением высоты к диаметру $h/d=0,65$. При этом объем заготовки, коэффициент трения μ ($\mu=0,2$) в обоих случаях были

одинаковыми. Из рис. 2б видно, что при скорости 150 мм/с штамп заполняется полностью, а при скорости 5 мм/с (рис.1б) наблюдается незаполнение углов верхнего штампа. Отсюда следует вывод, что чем больше скорость штампа, тем интенсивней течет металл, как следствие, лучше происходит заполнение штампа.

На рис. 3 показана поковка, полученная при моделировании процесса штамповки на молоте. Результаты моделирования процесса штамповки

свидетельствуют о том, что материал заготовки полностью заполнил ручей штампа без дефектов формы (рис. 3), а выбранная ширина мостика облойной канавки позволила создать нужное сопротивление течению металла, и таким образом заполнить по высоте выступы до вытекания металла в облойную канавку.

В процессе исследования факторов, влияющих на заполнение верхнего штампа, мы столкнулись с тем, что во время штамповки в чистовом ручье возможно образование зажима. Было решено более детально изучить причины возникновения этого дефекта.

Исследования показали, что образование зажимов происходит из-за слишком большого трения, возникающего в результате охлаждения поковки за счет контакта с инструментом, а также из-за низкой скорости деформирования. Их можно избежать увеличением скорости деформирования или подогреванием штампов.

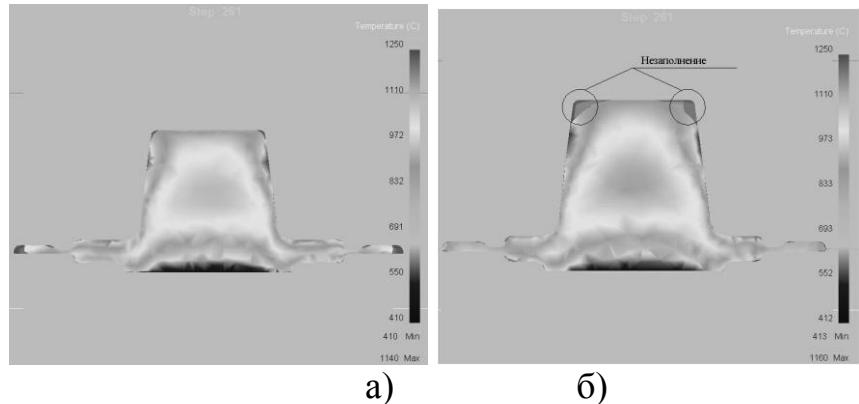


Рис. 1. Штамповка в чистовом ручье с постоянной скоростью 5 мм/с (объем заготовки $V_{заг}$ в обоих случаях одинаковый): а) $h/d=0,5$; б) $h/d=0,65$.

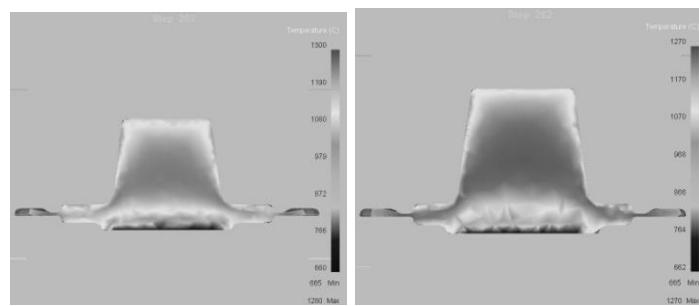


Рис. 2. Штамповка в чистовом ручье с постоянной скоростью 150 мм/с (объем заготовки $V_{заг}$ в обоих случаях одинаковый): а) $h/d=0,5$; б) $h/d=0,65$.

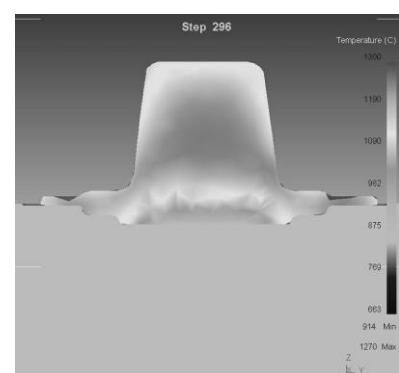


Рис. 3. Штамповка в чистовом ручье на молоте с $MPC=2t:h/d=0,65$ избежать уменьшением деформирования или

Список литературы: 1. Сидоров А. Настоящее и будущее моделирования процессов обработки металлов давлением/ А.Сидоров// САПР и графика.- 2007.- №10.- С.78. 2. Букарев И.М. Моделирование процесса объемной штамповки в Deform-3D и QForm-3D/ И.М. Букарев, Д.М. Бабин// Наука и образование.-2008.-№6.

Поступила в редакцию 15.03.2012

УДК 005.336.3

Г. I.XIMІЧЕВА, докт.техн.наук, проф., Київський національний університет технологій і дизайну, Київ,

А. С.ЗЕНКІН, докт.техн.наук, проф., зав.каф., Київський національний університет технологій і дизайну, Київ,

А. В.БАЛАНЮК, пров.інж., кафедра метрології, стандартизації і сертифікації, Київ

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВАРТІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОРІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Розглянуто основні методи оцінки технічного рівня продукції, отримано залежність між вартісними характеристиками продукції і значенням комплексного показника технічного рівня. Запропоновано методику оцінки вартісних характеристик однорідної продукції.

Ключові слова: методика оцінки, науково-технічний рівень, однорідна продукція, вартісні характеристики, комплексний показник

Рассмотрены основные методы оценки технического уровня продукции, получена зависимость между стоимостными характеристиками продукции и значением комплексного показателя технического уровня. Предложено методику оценки стоимостных характеристик однородной продукции.

Ключевые слова: методика оценки, научно-технический уровень, однородная продукция, стоимостные характеристики, комплексный показатель

Were considered methods for evaluating technical level of products, dependence between cost characteristics of products and value of complex index of technological level. Was proposed valuation method cost characteristics of similar product.

Keywords: method of evaluation, scientific and technical level, similar product, cost characteristics, complex index

1. Вступ

У сучасному світі становище будь-якої фірми на ринку товарів та послуг визначається рівнем конкурентоспроможності. У свою чергу, конкурентоспроможність пов'язана з двома показниками – рівнем цін та рівнем технічних рішень продукції, причому другий чинник поступово виходить на перше місце.

Отже, в умовах ринкових відносин актуальною є проблема дотримання відносної відповідності між цінами на продукцію і показниками її технічного рівня і якості, тож для ефективного функціонування механізму ціноутворення важливу роль відіграють принципи і методи, на яких базується оцінка вартісних характеристик продукції.

2. Постановка проблеми

Проведені авторами аналітичні дослідження, результати яких викладено в роботах [2...4] показують, що на сьогоднішній день вартісні показники (характеристики) продукції, які мають відношення до її експлуатації, як правило, визначаються на стадії оцінки якості шляхом їх включення в

сукупність параметрів, що оцінюються. Однак, такий підхід найчастіше є важко здійсненим і не завжди надає достовірну інформацію.

Тому у цілому ряді випадків вартісні показники доцільно оцінювати одночасно з комплексним показником технічного рівня продукції, що потребує створення спеціальних методик.

3. Мета роботи

Метою роботи є аналіз принципів і підходів оцінки вартісних характеристик продукції (послуг) і створення на їх основі спеціальної методики, яка враховує сучасний технічний рівень продукції.

4. Результати обговорення проблеми

Відомо, що якість продукції (послуг) – один з найважливіших показників, який безпосередньо впливає на конкурентоспроможність підприємства.

При цьому поняття якості тісно зв'язане з поняттям технічного рівня продукції, тобто відносної характеристики якості продукції, яка базується на співвідношенні показників, що визначають її технічну досконалість з відповідними базовими показниками [1].

Таким чином, в природі існує залежність між рівнем конкурентоспроможності продукції, її ціноутворенням і значенням комплексного показника технічного рівня (КПТР). Останній визначається в ході створення нормативної документації на конкретний вид однорідної продукції.

Оцінка науково-технічного рівня нормативної документації (НД), що містить вимоги до параметрів (показників) однорідної продукції, що розробляється, ґрунтуються на порівнянні їх значень із значеннями відповідних базових параметрів в рамках даної групи продукції.

У роботі [6] наводиться методика для оцінки науково-технічного рівня НД, суть якої полягає у визначенні критеріїв, які дозволяють оцінювати комплексний показник технічного рівня заданої групи продукції. Однак, результати цих досліджень доводять, що для практичної реалізації цієї методики потрібен значний обсяг вихідної інформації, яка повинна бути сформована у вигляді спеціальних баз даних, що включають відомості про міжнародні, національні, регіональні стандарти а також дані про технічний рівень і якість аналогічної продукції, що випускається в Україні і за кордоном.

У [3] запропонована методика комплексної оцінки технічного рівня і якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні параметрів продукції, що оцінюється за допомогою спеціально побудованих базових моделей. При цьому для визначення вартісних показників, основним з яких є «ціна» одиничного підвищення (пониження) значення кожного з параметрів, авторами було запропоновано використовувати розподіли відносних витрат на одиничні зміни значень параметрів.

В цій же роботі наведено алгоритм оцінки якості продукції за вартісними показниками, які безпосередньо пов'язані з експлуатаційними параметрами, які формують базову множину (БМ) таких параметрів як електроенергія, що споживається, трудовитрати та ін. Однак, такий підхід найчастіше буває важко здійсненим через недолік інформації. Тому в ряді випадків доцільно вартісні показники аналізувати одночасно з комплексним показником технічного рівня

продукції шляхом їх зіставлення з аналогічними показниками, що входять у групу однорідної продукції (ГОП), яка розглядається. Проте і в цих випадках для визначення комплексної оцінки показників потрібно мати відповідні математичні моделі і процедури їх реалізації. Тому в даній статті в якості такого механізму пропонується використовувати «управління» динамікою цін на продукцію.

Для викладення матеріалу приймемо наступні припущення:

1) повна множина найменувань продукції може бути розбита на групи, кожна з яких однозначно характеризується функціональним призначенням і номенклатурою основних показників;

2) з метою диференціації областей застосування продукції кожна група може бути розбита на непересічні підмножини, які будемо називати функціонально-параметричними рядами (ФПР);

3) номенклатура ФПР (так само, як і ГОП в цілому) еволюціонує в часі;

4) інтервал часу, який розглядається (t) для кожного виду продукції функціонально-параметричного ряду можна охарактеризувати конкретним чисельним значенням КПТР;

5) функціонально-параметричні властивості базової моделі еволюціонують у часі;

6) роздрібна (ринкова) ціна продукції визначається відношенням КПТР на t -му інтервалі часу до КПТР базової моделі розглянутого функціонально-параметричного ряду на тому ж інтервалі часу;

7) в якості продукції, що бере участь у формуванні еталону для визначення роздрібних цін, вибирається продукція, яка знаходиться в серійному виробництві і для якої при задоволенні ринкового попиту відношення різниці обсягу виробленої і обсягу реалізованої продукції до обсягу виробленої продукції відповідних найменувань залишається (в динаміці) стаціонарним.

Для математичного опису формування вартісних характеристик продукції в межах фіксованого формалізованого параметричного ряду будемо використовувати позначення, наведені у таблиці

Таблиця. Позначення для математичного опису формування вартісних характеристик продукції

$\tilde{J}_{s,t}$	множина найменувань продукції, що серійно випускається, функціонально-параметричного ряду, який аналізується на t -му інтервалі часу
j	індекс найменування продукції ($j \in \hat{J}_{s,t}$)
\tilde{J}_t^*	сукупність найменувань продукції, що бере участь на t -му інтервалі часу у формуванні орієнтовних цін ($\hat{J}_t^* \in \tilde{J}_{s,t}$)
j^*	індекс найменування продукції із \tilde{J}_t^* -сукупності;
$\hat{C}_{j,t}^{(p)}$	роздрібна ціна продукції j^* -го найменування із \tilde{J}_t^* -сукупності на t -ому інтервалі часу ($j^* \in \tilde{J}_t^*$)
$\tilde{C}_{j,t}^{(p)}$	роздрібна ціна продукції j' -го найменування, яка підлягає визначенню на t -му інтервалі часу ($j' \in \tilde{J}_{s,t}; j' \neq j^*$)

Продовження таблиці

$\hat{C}_{j,t}^{(o)}$	оптова ціна продукції j -го найменування, яка підлягає визначенню на t -му інтервалі часу ($j \in \tilde{J}_{s,t}$)
$K_{j,t}$	значення КПТР продукції j -го найменування на t -му інтервалі часу, розраховане на основі інформації про функціонально-параметричні властивості БМ ФПР, що розглядається, на "стартовому" (базовому) інтервалі часу
$K_{j^*,t}^*$	значення КПТР продукції j^* -го найменування ($j^* \in J_t^*$) на t -му інтервалі часу, розраховане з урахуванням функціонально-параметричних властивостей БМ ФПР, що розглядається, на базисному інтервалі часу
\tilde{K}_t	значення КПТР базової моделі ФПР, що розглядається, на t -му інтервалі часу, яке розраховується на основі інформації про функціонально-параметричні властивості БМ того ж ФПР на базисному інтервалі часу
$\hat{C}_{j^*,t}$	середня повна собівартість продукції j^* -го найменування із \hat{J}_t^* -сукупності на t -ому інтервалі часу ($j^* \in \hat{J}_t^*$)
$\hat{C}_{j^*,t}$	середня повна собівартість продукції j^* -го найменування на t -му інтервалі часу ($j^* \in \tilde{J}_{s,t}; j^* \in j^*$)

У загальному випадку продукція \tilde{J}_t^* -сукупності, що розглядається, може мати неоднакові значення КПТР. Тому перший крок при визначенні теоретичної роздрібної (еталонної) ціни полягає в дисконтуванні роздрібних цін за формулою:

$$\hat{C}_{[disc]j^*,t}^{(p)} = \frac{\hat{C}_{j^*,t}^{(p)} \tilde{K}_t}{K_{j^*,t}^*}. \quad (1)$$

Після виконання операцій дисконтування еталонна роздрібна ціна $\hat{C}_{y,t}$ визначається відношенням

$$\hat{C}_{y,t} = \frac{1}{J_t^*} \sum_{j^*=1}^{J_t^*} \hat{C}_{[disc]j^*,t}^{(p)}. \quad (2)$$

де J_t^* — кількість найменувань продукції \tilde{J}_t^* -ї сукупності.

Тоді для роздрібної ціни j^* -ої продукції ($j^* \in \tilde{J}_{s,t}; j^* \neq j^*$) з урахуванням виразів (1) і (2) маємо:

$$\hat{C}_{j^*,t}^{(p)} = \frac{K_{j^*,t}}{J_t^*} \sum_{j^*=1}^{J_t^*} \frac{\hat{C}_{j^*,t}^{(p)}}{K_{j^*,t}^*}. \quad (3)$$

Однак, застосування виразу (3) для визначення орієнтовних роздрібних цін продукції того чи іншого ФПР можливе лише у випадку стаціонарності процесу реалізації всієї продукції \tilde{J}_t^* -ї сукупності.

Оскільки повна собівартість продукції j -го найменування на різних підприємствах як правило є неоднаковою, то потрібно визначати середню повну собівартість цієї продукції з урахуванням обсягів виробництва на кожному

окремому підприємстві. Для ітеративного аналізу рівня рентабельності продукції j -го найменування на α -му підприємстві ($\alpha=1, A$) визначимо $\hat{C}_{j,t}^{(o)}$ по формулі, яка аналогічна формулі (3):

$$\hat{C}_{j,t}^{(o)} = \frac{K_{j,t}}{J_t^*} \sum_{j^*=1}^{J_t^*} \frac{\hat{C}_{j^*,t}^{(o)}}{K_{j^*,t}^*}. \quad (4)$$

Далі припустимо, що всі вироби J_t^* -ї сукупності є рентабельними. Тоді чисельне значення рівня рентабельності виробів j -го найменування буде визначатися за формулою:

$$R_{j,t} = C_{j,t}^{-1} \left(\frac{K_{j,t}}{J_t^*} \sum_{j^*=1}^{J_t^*} \frac{\hat{C}_{j^*,t}^{(o)}}{K_{j^*,t}^*} - \tilde{C}_{j,t} \right). \quad (5)$$

У випадку коли для всіх значень $j \in J_{s,t}$ ($j \neq j^*$) числове значення $R_{j^*,t}$ (отримане з допомогою (5)) виявиться більше 0, то в першому наближенні визначення рівнів оптових цін за формулою (4) можна вважати коректним. В іншому випадку для уточнення співвідношень між оптовими і роздрібними цінами продукції потрібне проведення спеціального економічного аналізу.

Таким чином, проведений аналіз показав, що оцінка КПТР дозволяє визначити орієнтовну оптову і роздрібну ціни на продукцію, що виробляється. При цьому, наведена схема апіорної оцінки орієнтовних вартісних показників, асоційованих з різними ФПР, дозволяє прослідковувати динаміку зміни показників якості продукції у умовах швидкоплинних вимог споживачів.

Висновки

1. Проаналізовано існуючі методи оцінки технічного рівня продукції та встановлено залежність між конкурентоспроможністю продукції, її ціноутворенням і значенням комплексного показника технічного рівня.

2. Запропоновано методику, яка дозволяє оцінювати вартісні характеристики однорідної продукції за принципами «управління динамікою цін».

3. Обґрунтовано доцільність застосування запропонованої методики, яка базується на визначенні комплексного показника технічного рівня продукції і враховує швидкоплинні вимоги споживача.

Список літератури: 1. Поняття якості продукції, робіт та послуг [Електронний ресурс] / Енциклопедія економіки. Соціально економічний ресурс. – Режим доступу: www/URL: http://economic.lviv.ua – 2009. – Загол. з екрану. 2. Химичева А.І., Аль Зарей Аммар, Зенкін А.С. Методология оценки конкурентоспособности научоемкой продукции // Східно-европейський журнал. – 2006. – №4/3(22). – С.69-72. 3. Химичева А. И. Научные основы проектирования интегрированных систем управления качеством продукции (услуг) на базе международных стандартов : дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук канд. тех. наук/ А. И. Химичева. – К., 2007. – 417 с. 4. Хімічева Г.І., Зенкін М.А., Швачій В.М., Аль Зарей Аммар. Прогнозування якості продукції на основі модульних принципів // Технологические системы. – 2004. – №1(21). – С. 41-47. 5. Хімічева Г. І., Хіміч В. І., Чайка Ю. В. Розробка оцінки конкурентоспроможності продукції взуттєвого виробництва // Вісник КНУТД. – 2009. – №3. – С. 85-91. 6. Хімічева Г. І., Клімуха О. В., Зенкін А. С. Розробка формалізованих підходів оцінки науково-технічного рівня нормативних документів для наукоємкої продукції // Вісник КНУТД. – 2008. – №3(40). – С. 54-65.

Поступила в редколегію 17.03.2012

E.B. ВОЛЧЕНКО, канд.техн.наук, доц., Институт информатики и
искусственного интеллекта ГВУЗ «ДонНТУ», Донецк,

B.C. СТЕПАНОВ, ассис., Институт информатики и искусственного
интеллекта ГВУЗ «ДонНТУ», Донецк,

МЕТОД w-MIEF ПОСТРОЕНИЯ РАБОЧЕГО СЛОВАРЯ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ВЗВЕШЕННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК

Роботу присвячено вирішенню задачі обробки початкових даних у адаптивних системах розпізнавання, що навчаються. Запропоновано метод w-MIEF побудови робочого словника ознак по зважених навчаючих вибірках w-об'єктів, що базується на відборі ознак із максимальною індивідуальною ефективністю класифікації. Наведено результати експериментальних досліджень, що підтверджують ефективність запропонованого методу.

Ключові слова: адаптивна система розпізнавання, навчаюча вибірка, w-об'ект, словник ознак.

Работа посвящена решению задачи предобработки исходных данных в адаптивных обучающихся системах распознавания. Предложен метод w-MIEF построения рабочего словаря признаков по взвешенным обучающим выборкам w-объектов, основанный на отборе признаков с максимальной индивидуальной эффективностью классификации. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предложенного метода.

Ключевые слова: адаптивная система распознавания, обучающая выборка, w-объект, словарь признаков.

Problem of the effective training samples processing in adaptive recognition systems is considered in the work. Method w-MIEF of feature subset's construction based on the selection of feature with maximum individual efficiency of recognition is proposed. Experimental results confirming the high quality of proposed method are presented.

Key words: adaptive recognition system, training samples, w-object, feature set.

1. Введение

Появление большого количества технических устройств, работа которых напрямую зависит от распознавания текущего состояния объектов, процессов, явлений и состояний, с которыми эти устройства работают, является одной из основных причин активного расширения области практического применения систем распознавания [1]. Немаловажную роль в расширении области применения систем распознавания играет развитие информационных технологий, в том числе и сети Интернет. В этой области на основе систем распознавания образов решаются задачи построения электронных библиотек с автоматической рубрикацией текстов, новостных порталов, почтовых серверов с возможностью фильтрации нежелательной электронной корреспонденции. Именно поэтому наряду с необходимостью обеспечения эффективности классификации, современные системы распознавания должны отвечать требованиям работы в режиме реального времени, адаптации к изменениям в распознаваемых объектах и окружающем мире, предоставлять возможность работы с неполными и

зашумленными данными [1, 2]. Появление этих требований обусловлено, в первую очередь, большим объемом данных о распознаваемых объектах, как известных при создании систем, так и поступающих в процессе их функционирования.

Необходимость обработки постоянно увеличивающегося объема данных в режиме реального времени обусловило появление нового класса систем распознавания, называемых адаптивными. При построении адаптивных систем к задачам, традиционно решаемым при построении систем распознавания, добавляются задачи предобработки исходных и поступающих в процессе работы данных, корректировки решающих правил и словаря признаков при добавлении новых данных, заполнения пробелов в данных и удаления выбросов.

Задача предобработки исходных данных, представленных в виде выборки значений признаков объектов, может решаться в двух направлениях [3]:

1) сокращение количества объектов в выборке путем их частичного удаления или замены выбранного подмножества одним объектом;

2) выбором подмножества признаков из словаря для сокращенного описания каждого объекта выборки.

В предыдущих работах авторов, например в [4], для решения задачи сокращения количества объектов в выборке был предложен переход к взвешенным выборкам w -объектов, показавший свою эффективность при решении многих прикладных задач. Построение каждого w -объекта осуществляется путем замены множества близкорасположенных объектов исходной выборки, а вес w -объекта характеризует заменяемое множество.

Сокращение пространства признаков (построение рабочего словаря) путем удаления неинформативных или неопределенных для многих объектов признаков является одной из наиболее актуальных и сложных задач, решаемых при построении систем распознавания. Выбор системы информативных признаков позволяет существенно сократить временные затраты на измерение значений признаков распознаваемых объектов и выполнение классификации, уменьшить объем хранимых данных и упростить описание объектов [1, 3]. Выборки w -объектов также могут содержать малоинформационные признаки, удаление которых не ухудшит, а иногда и улучшит эффективность классификации.

Целью данной работы является объединение двух подходов к решению задачи предобработки исходных данных, состоящее в разработке метода сокращения пространства признаков на основе взвешенных обучающих выборок w -объектов.

2. Анализ существующих методов построения рабочего словаря признаков

На сегодняшний день выделяются три основные парадигмы выбора признаков: фильтрующие, оберточные и встраиваемые методы [2]. Фильтрующие методы [2, 5, 6] оценивают каждый признак независимо от остальных, с учетом принадлежности к классам в обучающей выборке и определяют рейтинг всех признаков. В словарь будут включены признаки, имеющие максимальный рейтинг. Оберточные методы [2, 7, 8] используют классические алгоритмы поиска из теории искусственного интеллекта.

Алгоритмы такого типа оценивают каждое изменение лучшего подмножества признаков с помощью некоторого алгоритма обучения. Встраиваемые методы [2, 9, 10] создают линейную прогнозирующую модель, с помощью которой производится попытка одновременно максимизировать точность аппроксимации и минимизировать количество используемых признаков. Примером такой модели, является алгоритм построения дерева решений, в котором при достижении очередного узла ветвления должен быть выбран новый признак. В данных алгоритмах наравне с проблемой выбора оптимального подмножества признаков решается задача определения оптимальной последовательности отбора признаков.

Существующие методы отбора признаков по способу реализации можно разделить на 3 группы: методы полного перебора, эвристические методы и методы произвольного поиска. Методы, основанные на оценке всех возможных подмножеств признаков распознавания, являются эффективными только для словарей и выборок малого размера из-за низкой скорости поиска решений, поэтому для адаптивных систем, характеризующихся большим объемом постоянно добавляемых данных, использоваться не могут.

Эвристические методы основаны на некоторых предположениях о свойствах оптимальных решений, оцениваемых по выбранному критерию. В качестве критерия оценки качества получаемых словарей наиболее часто используется критерий информативности, показывающий долю правильно классифицированных объектов по выбранному признаку [11]. По способу определения информативности признаков выделяют следующие группы методов:

1) методы, постепенно дополняющие (уменьшающие) набор информативных признаков, пока последующее изменение не повысит эффективность классификации [2, 3, 7];

2) методы, осуществляющие выбор подмножества признаков по выбранному комплексному критерию, оценивающему признаки по выбранному набору параметров [2, 5, 6];

3) методы, использующие в процессе выбора подмножества информативных признаков произвольную составляющую (например, для выбора начального подмножества или для изменения выбранного подмножества в процессе работы метода и т.д.) [3, 8-10].

Проведенный анализ показывает, что наиболее эффективными на сегодняшний день являются методы, основанные на оценке как каждого из признаков в отдельности, так и выбранного подмножества в целом на основе эвристических критериев, соответствующих особенностям исходных данных. При этом стоит отметить, что проблема сокращения времени определения словаря признаков при условии обеспечения высокой эффективности классификации является одной из основных нерешенных проблем в области распознавания.

Далее предложим метод построения словаря признаков на основе взвешенных выборок w-объектов, позволяющих выполнять существенное сокращение размера обучающих выборок без уменьшения эффективности классификации.

3. Постановка задачи

Пусть имеется некоторая конечная взвешенная обучающая выборка w -объектов $X^W = \{X_1^W, X_2^W, \dots, X_k^W\}$. Каждый w -объект X_i^W этой выборки описывается априорным словарем признаков и весом – неотрицательным числом, т.е. $X_i^W = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, p_i\}$ и представляется точкой в линейном пространстве признаков, т.е. $X_i \in R^n$. Для каждого w -объекта известна его классификация $y_i \in V$, где $V = \{V_1, \dots, V_l\}$ – множество всех классов системы. Для каждого класса задана априорная вероятность P_i .

Необходимо построить сокращенный рабочий словарь из m ($m < n$) признаков при условии сохранения начального уровня эффективности классификации.

4. Метод построения рабочего словаря признаков на основе взвешенных обучающих выборок

Предлагаемый в данной работе метод w -MIEF основан на индивидуальной оценке информативности признаков по обобщенному критерию, включающему в себя отношение дискриминанта Фишера и коэффициент индивидуальной эффективности распознавания. Основной особенностью предлагаемого метода является использование в качестве исходных данных взвешенной выборки w -объектов.

Алгоритм w -MIEF состоит из следующих этапов.

1. Инициализация алгоритма (значений дискриминанта Фишера $fisher_i = 0, i = \overline{1, n}$ и среднего значения $fisherAvg = 0$).

2. Вычисление отношения дискриминанта Фишера для всех признаков априорного словаря

$$fisher_i = \frac{\sum_{j=1}^l P_j \cdot D_{ji}}{\sum_{j=1}^l \sum_{\substack{a=1 \\ a \neq j}}^l P_j \cdot P_a \cdot (m_{ji} - m_{ai})^2},$$

где D_{ji} – дисперсия значений i -го признака по j -ому классу,

m_{ji} – среднее значение i -го признака по j -ому классу.

3. Вычисление степени покрытия классов признаками априорного словаря

$$coverage_{ji} = \frac{\sum_{a=1}^{S_i} featValItems_{ja}}{m_{ji} \cdot P_j}$$

где S_i – количество уникальных найденных значений признака x_i ,

$featValItems_{ja}$ – количество объектов класса j с заданным значением i -ого признака.

4. Вычисление взвешенной эффективности признаков

$$weightedEf_i = \frac{\sum_{j=1}^l featValWeight_j}{\sum_{a=1}^k p_a}$$

где $featValWeight_j$ - суммарный вес объектов класса j с заданным значением i -ого признака,

p_a - вес w-объекта.

5. Выбор наилучших признаков:

- 1) с максимальной эффективностью по степени перекрытия классов

$$BestCoverge = \max_{i=1,n} \sum_{j=1}^l coverage_{ji},$$

- 2) с максимальной эффективностью по информативности:

$$BestFi = \max_{i=1,n} weightedEf_i.$$

6. Формирование рабочего словаря признаков по параметрам максимальной эффективности по степени перекрытия классов и информативности признаков по следующим правилам:

1) эффективность текущего признака совпадает с эффективностью лучшего признака;

2) эффективность признака больше 0 и данный признак улучшает распознавание хотя бы одного класса;

3) эффективность признака больше 0 и распознавание хотя бы одного из классов лежит в пределах порога t , заданного пользователем.

Отметим, что наличие пользовательского порога t , связано с тем, что возможны ситуации, когда признаки не улучшают распознавание хотя бы одного из классов, но, тем не менее, имеют схожий с лучшим уровень распознавания классов. Таким образом, если для рассматриваемого признака разница между лучшим и текущим уровнем распознавания любого из классов находится в пределах $(0; t]$, то данный признак также помечается, как информативный.

Данный алгоритм получил название weighted Maximum Individual Efficiency Filter (w-MIEF, фильтр признаков по максимальной индивидуальной эффективности), т.к. он позволяет выбирать информативные признаки на основе их максимальной индивидуальной эффективности признаков.

Асимптотическая времененная сложность алгоритма составляет $O(MN)$.

5. Экспериментальные исследования

В качестве тестовых наборов данных для оценки эффективности предложенного метода использовались выборки репозитория UCI [12]. В таблице 1 представлено описание используемых исходных наборов данных и результаты построения по ним выборок w-объектов по алгоритму, представленному в работе [4] (количество признаков и классов при переходе к выборкам w-объектов не изменяется).

Таблица 1. Наборы данных из репозитория UCI

Набор данных	Исходная выборка			Кол-во w-объектов после сокращения
	Кол-во объектов	Кол-во признаков	Кол-во классов	
Multifeature	2000	649	10	617
LIBRAS	360	90	15	193
Vehicle	846	18	4	433
Waveform	5000	21	3	2541
Wisconsin Cancer	569	32	2	116

Для оценки эффективности классификации по полученным словарям признаков использовался алгоритм построения дерева решений C4.5 [1]. Пользовательский порог t метода w-MIEF выбирался экспериментально для обеспечения максимальной эффективности классификации. Тестирование проводилось путем выполнения десятикратной кросс-проверки с выбором 10% объектов в обучающую выборку.

Для сравнительной оценки эффективности работы алгоритма w-MIEF был использован один из наиболее эффективных алгоритмов построения словарей признаков Relief [6]. Результаты тестирования представлены в таблицах 2-3.

Таблица 2. Результаты классификации (размер словаря признаков)

Набор данных	Исходный словарь признаков	Сокращение словаря признаков алгоритмом Relief	Сокращение словаря признаков алгоритмом w-MIEF
Multifeature	649	135	117
LIBRAS	90	47	42
Vehicle	18	12	9
Waveform	21	11	10
Wisc. Can.	32	12	15

Таблица 3. Результаты классификации
(точность и время выполнения классификации)

Набор данных	Исходный словарь признаков		Сокращение словаря признаков алгоритмом Relief		Сокращение словаря признаков алгоритмом w-MIEF	
	Точность, %	Время, мс	Точность, %	Время, мс	Точность, %	Время, мс
Multifeature	96,84	89761,4	95,56	4281	94,39	8043,7
LIBRAS	77,88	5548,6	75,72	2850	72,98	1514,8
Vehicle	82,48	1001,6	79,38	684,6	79,17	336,7
Waveform	88,46	32368,2	85,04	14282,2	84,18	4649,9
Wisc. Can.	96,50	571,6	96,32	235,6	94,09	131,8
Среднее значение:	88,43	25850,2	86,40	4466,68	85,16	2935,38

На основе представленных результатов экспериментальных исследований можно сделать выводы о том, что:

1) по сравнению с исходной выборкой предложенный метод позволяет сократить количество признаков и время выполнения распознавания на 45% - 80% при сохранении высокой эффективности классификации;

2) по сравнению с алгоритмом Relief предложенный метод позволяет сократить количество признаков и время выполнения распознавания на 25% - 40% при сохранении высокой эффективности классификации.

Необходимо отметить, что на выборках большего размера метод w-MIEF показывал лучшие результаты по эффективности классификации.

Этот результат подтверждает сделанный в предыдущих работах авторов вывод о необходимости перехода к взвешенным выборкам w-объектов при наличии в исходных выборках более 2500 объектов.

6. Выводы

В данной работе предложено комплексное решение задачи обработки обучающих выборок в адаптивных системах распознавания, заключающееся в одновременном сокращении количества объектов выборок и признаков априорного словаря. Разработан новый метод w-MIEF построения рабочего словаря признаков, позволяющий анализировать признаки объектов обучающих выборок, содержащих весовые коэффициенты. Предложенный метод формирует рабочий словарь, содержащий не дискриминирующие признаки с достаточно высокой индивидуальной эффективностью. Пользовательский параметр разработанного метода позволяет выбирать не только признаки, имеющие лучшую эффективность распознавания, но и признаки, имеющие меньшую эффективность распознавания в пределах задаваемого порога и при этом обладающие хорошей способностью к разделению классов.

Предложенный метод был протестирован с использованием реальных тестовых данных, традиционно используемых для проверки качества классификаторов. Тестирование проводилось путем кросс-проверки с использованием классификатора C4.5. Результаты исследований показали, что метод w-MIEF позволяет выполнить сокращение словаря признаков при условии сохранения эффективности классификации, полученной при использовании исходных выборок.

Результаты данной работы подтверждают эффективность использования взвешенных выборок w-объектов при построении адаптивных обучающихся систем распознавания.

Список литературы:1. Larose D.T. Discovering knowledge in Data: An Introduction to Data Mining / D.T. Larose. – New Jersey, Wiley & Sons, 2005. – 224 p. 2. Liu H. Computational methods of feature selection / H. Liu, H. Motoda. – Chapman & Hall/CRC data mining and knowledge discovery, 2007. – 440 р.3. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.4. Волченко Е.В. Метод построения взвешенных обучающих выборок в открытых системах распознавания / Е.В. Волченко // Доклады 14-й всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов (ММРО-14)», Сузdalь, 2009. – М.: Макс-Пресс, 2009. – С. 100-104.5. Yu Lei Feature Selection for High-Dimensional Data: A Fast Correlation-Based Filter Solution / Lei Yu, Huan Liu // Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003), Washington DC, 2003. – In ICML. – P. 856-863.6. Kononenko I. Estimating attributes: Analysis and extensions of RELIEF/ I. Kononenko // European Conference on Machine Learning. – Catania, Italy, Springer Verlag, New York, 1994. – P. 171-182.7. Pudil P. Floating search methods in feature selection / P. Pudil, Novovićová, J. Kittler // Pattern Recognition Letters 15. – 1994. – P. 1119-1125.8. Stracuzzi D.J. Randomized variable elimination / D.J. Stracuzzi, P.E. Utgoff // Journal of Machine Learning Research 5. – 2004. – P. 1331-1364.9. Skalak D.B. Prototype and feature selection by sampling and random mutation hill climbing / D.B. Skalak [In W.W. Cohen and H. Hirsh, editors] // Machine Learning: Proceedings of the Eleventh International Conference. – New Brunswick, NJ, Morgan Kaufmann, 1994. – P. 293-301.10. Liu H. A probabilistic approach to feature selection. / H. Liu, R. Setino [In L. Saitta, editor] // Machine Learning: Proceedings of the Thirteenth International Conference on Machine Learning. – Bari, Italy, Morgan Kaufmann, 1996. – P. 319–327.11. Файнзильберг Л.С. Оценка полезности признаков при решении задач диагностики в

статистической постановке / Л.С. Файнзильберг // Математические машины и системы. – № 1. – 1998. – С. 57 – 64.**12.** Merz C.J. UCI Repository of machine learning datasets / C.J. Merz, P.M. Murphy // Information and Computer Science University of California, Irvine, CA, 1998. – Режим доступа: <http://www.ics.uci.edu/~mlearn/databases>

Поступила в редакцию 01.03.2012

УДК 656.13+612.821

Н. У. ГЮЛЕВ, канд.техн.наук, доц., ХГАГХ, Харьков,
В. К. ДОЛЯ, докт. техн.наук, проф., зав.каф., ХГАГХ, Харьков

МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ-ФЛЕГМАТИКА В ТРАНСПОРТНОМ ЗАТОРЕ

Исследовано влияние различных факторов на функциональное состояние водителя-флегматика. Представлена математическая модель влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя-флегматика.

Ключевые слова: функциональное состояние, математическая модель, транспортный затор, показатель активности регуляторных систем.

Досліджено вплив різних факторів на функціональний стан водія-флегматика. Представлена математична модель впливу транспортного затору на функціональний стан водія-флегматика. Ключові слова: функціональний стан, математична модель, транспортний затор, показник активності регуляторних систем.

The effect of various factors on the functional state of the driver-phlegmatic. A mathematical model of the impact of traffic congestion on the functional state of the driver-phlegmatic.

Key words: functional status, the mathematical model, the transport route, the index of activity of regulatory systems.

1. Введение

Пребывание в транспортном заторе приводит к ухудшению функционального состояния водителя. Происходит временное нарушение некоторых психофизиологических функций водителя, от которых во многом зависит безопасность работы транспортной системы [1,2]. При этом транспортные заторы влияют на водителей по разному в зависимости от темперамента.

2. Постановка проблемы

Транспортные заторы возникают вследствие превышения интенсивности транспортного потока над пропускной способностью улиц и дорог. Это приводит к снижению скорости транспортных средств и увеличению времени передвижения.

Транспортными средствами управляют водители с различной квалификацией и различными психофизиологическими характеристиками [3-6]. От психофизиологии водителя и его функционального состояния зависит время реакции водителя и динамический габарит автомобиля, который влияет на характеристики транспортного потока [7].

Все это свидетельствует о необходимости проведения исследования по оценке влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя в зависимости от его темперамента.

3. Анализ последних исследований и публикаций

Формирование транспортных потоков, психофизиологические особенностями водителей и организация дорожного движения рассмотрены в работах [1-12]. В работах [3,4, 8,9,10] рассмотрены закономерности формирования транспортных потоков и организация дорожного движения. При этом проблема влияния транспортных заторов на функциональное состояние водителей изучена недостаточно полно. В работах [1,2,11,] рассмотрены некоторые психофизиологические аспекты работы водителя. В работе [12] приведены результаты исследований изменения функционального состояния водителей на участках дорожной сети и на остановочных пунктах маршрутного транспорта.

Однако задача влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя в зависимости от его темперамента исследована не в полном объеме.

4. Цель исследования

Цель исследования состоит в разработке регрессионной модели влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя-флегматика в зависимости от его темперамента.

5. Основной материал

Задача разработки математической модели влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя заключается в правильном, обоснованном выборе объекта исследования и совокупности факторов, влияющих на поведение объекта. В качестве объекта в рамках настоящего исследования выступают те водители, которые были отобраны в результате кластерного анализа [13]. В данной работе приведены результаты исследований по разработке регрессионной модели для водителей с типом нервной системы флегматик.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [14] при составлении математической модели были отобраны следующие факторы: возраст водителя, стаж работы водителя, число полос на дороге, эргономические характеристики автомобиля, длительность пребывания в транспортном заторе, величина функционального состояния водителя перед затором. При этом в качестве фактора, отражающего эргономические характеристики автомобиля, было выбрано отношение цены нового автомобиля к удельной мощности двигателя [11].

Функциональное состояние водителя оценивалось путем математического анализа сердечного ритма водителя и определения показателя активности регуляторных систем (ПАРС) по методу профессора Баевского Р.М. [15].

Для составления математической модели влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя- флегматика была выбрана модель линейного вида. При разработке модели были использованы известные методы статистики и регрессионного анализа.

Разработанная модель имеет следующий вид:

$$\Pi_k = -0,396 \cdot \text{Ц/Y} - 0,066 \cdot T_3 + 1,067 \cdot \Pi_n,$$

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

Ц/У – отношение цены нового автомобиля к удельной мощности двигателя, тыс. у.е./ (кВт/т);

T_3 – длительность транспортного затора, мин;

P_n - ПАРС при входе в транспортный затор, баллы.

Результаты расчетов параметров модели приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Характеристика модели функциональное состояние водителя в транспортном заторе.

Факторы	Обозначение, размерность	Границы измерений	Коэффициент	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	
					расчетный	табличный
Отношение цены нового автомобиля к удельной мощности двигателя	Ц/У , тыс. у.е. / (кВт/т);	0,1 - 0,8	- 0,396	0,194	2,03	2,0
Длительность транспортного затора	T_3 мин	2 - 19	- 0,066	0,013	5,04	2,0
ПАРС при входе в транспортный затор	P_n , баллы	3,5 - 5,8	1,067	0,035	30,13	2,0

Таблица 2. Доверительные интервалы коэффициентов модели

Факторы	Нижняя граница	Верхняя граница
Отношение цены нового автомобиля к удельной мощности двигателя	- 0,787	- 0,004
Длительность транспортного затора	- 0,092	- 0,039
ПАРС при входе в транспортный затор	0,996	1,138

Из таблицы 1 и 2 видно, что в разработанной математической модели значимыми оказались только три фактора. Об их значимости свидетельствует превышение расчетного значения критерия Стьюдента над табличным и отсутствие нуля в доверительных интервалах коэффициентов модели.

Статистическая оценка разработанной модели представлена в таблице 3.

Таблица 3. Результаты статистической оценки модели

Показатели	Значение
Критерий Фишера: расчетный	3276
Коэффициент множественной корреляции	0,99
Средняя ошибка аппроксимации, %	5,67

Превышение расчетного значения критерия Фишера над табличным, равным 1,36, свидетельствует о высокой информационной способности модели. Значение коэффициента множественной корреляции, равное 0,99, говорит о высокой тесноте связи между включенными в модель факторами и функцией.

Адекватность разработанной модели оценивалась показателем средней ошибки аппроксимации, который равен 5,67%. Эта ошибка является допустимой и разработанная модель может быть применена для определения функционального состояния водителя-флегматика в транспортном заторе.

6. Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенные исследования и составленная математическая модель свидетельствуют о том, что транспортный затор по разному влияет на функциональное состояние водителя в зависимости от темперамента. В частности, функциональное состояние водителя-флегматика в транспортном заторе не ухудшается. В результате разработки регрессионной модели выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на функциональное состояние водителя-флегматика в транспортном заторе. Дальнейшие исследования могут быть направлены на установление зависимостей влияния транспортного затора на функциональное состояние водителей других темпераментов.

Список литературы: 1. Вайсман, А. И. Основные проблемы гигиены труда водительского состава автотранспорта : автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 03.12.02 / А. И. Вайсман ; — М., 1975. — 37 с. 2. Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. — М.: Транспорт, 1980. — 311 с. 3. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими : пер. с англ. — М. : Транспорт, 1972. — 423 с. 4. Брайловский, Н. О. Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. — М. : Транспорт, 1978. — 125 с. 5. Полищук, В. П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В. П. Полищук. — К. : КАДИ, 1983. — 95 с. 6. Вол М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин. — М. : Транспорт, 1981. — 514 с. 7. Гюлев, Н. У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2011. — №2. — С. 117–120. 8. Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. — К. : Вища школа, 1986. — 271 с. 9. Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. — М. : Транспорт, 2001. — 247 с. 10. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков : пер. с англ. — М. : Мир, 1966. — 288 с. 11. Мишурин, В. М. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишурин, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. — М.: МАДИ, 1982. — 254 с. 12. Давідіч, Ю. О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Ю. О. Давідіч. — Харків : ХНАДУ, 2006. — 292 с. 13. Гюлев, Н. У. Кластерный анализ результатов экспериментальных исследований влияния транспортного затора на функциональное состояние водителей / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.3/9(51). — С. 59–61. 14. Френкель, А. А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда / А. А. Френкель. — М. : Экономика, 1966. — 96 с. 15. Баевский, Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. Н. Кириллов, С. З. Клецкин. — М. : Наука, 1984. — 222 с.

Поступила в редакцию 17.03.2012

A.B. ДОРОЖАН, асп., ХНУРЕ, Харьков,

А.А. АСТРАХАНЦЕВ, доц., канд.техн.наук, ХНУРЕ, Харьков,

О.О. ВОВК, студ, ХНУРЕ, Харьков,

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОВ СКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЗБ НА ФОНЕ АДДИТИВНОГО ШУМА

Досліджуються характеристики методів приховування інформації у нерухомих зображеннях на основі заміни найменш значущого біту. Оцінено характеристики методів вбудовування при використанні завадостійкого кодування на тлі аддитивної гаусівської завади.

Ключові слова: НЗБ, аддитивний шум, приховання інформації у нерухомих зображеннях.

Исследуются характеристики методов скрытия информации в неподвижных изображениях на основе замены наименее значащего бита. Оценены характеристики методов встраивания при использовании помехоустойчивого кодирования на фоне аддитивного гауссовского шума.

Ключевые слова: НЗБ, аддитивный шум, скрытие информации в неподвижных изображениях.

We study the characteristics of the methods of hiding information in still images based on the replacement of the least significant bit. Evaluated characteristics of the embedding methods using error correcting coding in Additive Gaussian noise.

Keywords: LSB, additive noise, hiding information in still images.

Введение

Метод наименее значащего бита (LSB) является наиболее распространенным в цифровой стеганографии. Появившийся в начале 90-х годов 20-го века, он основывается на ограниченных способностях органов чувств, вследствие чего людям очень тяжело различать незначительные вариации звука или цвета. Рассмотрим этот метод на примере 24-битного растрового RGB изображения.

Каждая точка в таком изображении кодируется 3мя байтами, каждый байт определяет интенсивность красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) цвета. Совокупность интенсивностей цвета в каждом из 3х каналов определяет оттенок пикселя (рис. 1).

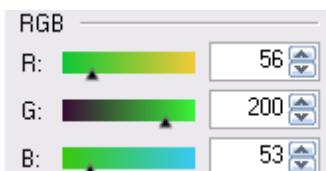


Рис.1. Пример получения оттенка в RGB изображении

Младшие разряды в меньшей степени влияют на итоговое изображение, чем старшие. Из этого можно сделать вывод, что замена одного или двух младших, наименее значащих битов, на другие произвольные биты настолько незначительно исказит оттенок пикселя, что зритель просто не заметит изменения.

Допустим, нам нужно скрыть в пикселе изображения (с параметрами R=56, G=200, B=53) шесть бит: 100111. Для этого разобьем их на три пары и заместим ими по два младших бита в каждой цветовой компоненте. Вместо пикселя с

параметрами (00111000) , $R=56$
 $G=200$, $B=53$
 (11001000) , $R=58$
 $G=201$, $B=55$
 (00110101) , получим $R=58$
 $G=201$, $B=55$
 (11001001) , $R=58$
 $G=201$, $B=55$
 (00110111) . В результате мы получим новый оттенок, очень похожий на исходный. Эти цвета трудно различить даже на большой по площади заливке (рис. 2).

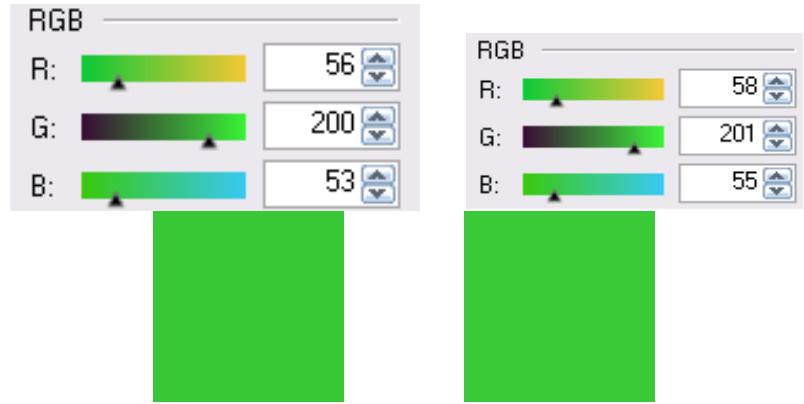


Рис. 2. Сравнение двух оттенков RGB изображения

1. Анализ возможности встраивания в 2 и более НЗБ

Замена двух младших битов не воспринимается человеческим зрением, и теоретически, в случае необходимости можно использовать и три бита, но это хотя и существенно не скажется на качестве картинки, будет легко обнаружено статистическими методами, ввиду ухудшения отношения сигнал/шум (рис. 3).

Алгоритм наименее значащего бита широко используют на практике в стеганографии, благодаря его простоте реализации, а также высокой пропускной способности передаваемой скрытой информации. Но данный алгоритм имеет целый ряд недостатков.

2. Исследование неумышленных и злонамеренных атак на стегосистему

Для исследования неумышленных атак на алгоритм НЗБ в программе Mathcad была реализована модель канала связи со встраиваемой помехой типа аддитивный гауссовский белый шум. В качестве контейнеров использовались 24-битные bmp-файлы. Исследовалось встраивание в младший бит и два младших бита.

При исследовании влияния злонамеренных атак передаваемый файл-контейнер подвергался различного вида воздействиям характерным для применяемых к изображению функциям (сжатие, изменение яркости, контраста, обрезание краев и т. п.).

На практике алгоритм НЗБ подтвердил свою полную неустойчивость к неумышленным помехам и атакам. Результаты эксперимента показали, что любые воздействия на объект затрагивающие область, в которую были встроены метки начала и конца полезного сообщения, с последующим изменением её битовой составляющей, делают невозможным не только декодирование, но и обнаружение сообщения. Изменения, вносимые аддитивной помехой, пропорциональны её амплитуде и также пагубно воздействуют на декодирование передаваемой информации (рис. 4,5).

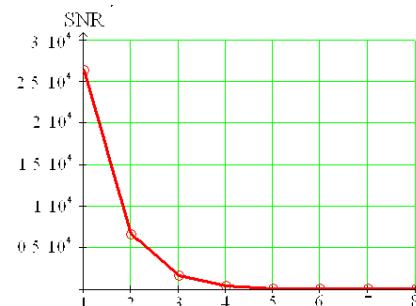


Рис. 3. Зависимость отношения С/Ш от номера модифицируемого бита

Таким образом, были выявлены два основных недостатка данного метода:

1. Скрытое сообщение легко разрушить, например, при сжатии или обрезке исходного файла-контейнера. Либо при передаче через канал связи с высокой вероятностью возникновения помехи.

2. Не обеспечена секретность встраивания информации. Точно известно местоположение зашифрованной информации.

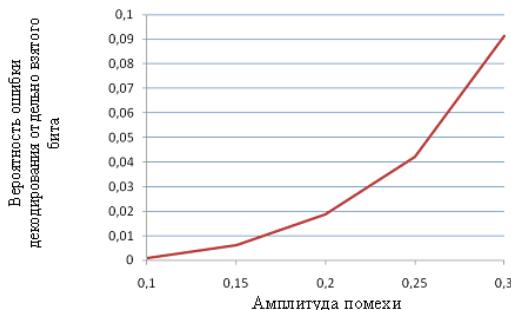


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки декодирования отдельно взятого бита от величины амплитуды аддитивной помехи

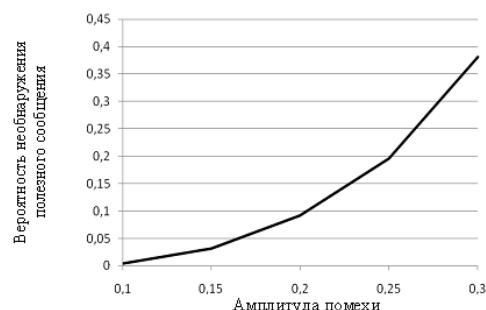


Рис. 5. Зависимость вероятности необнаружения полезного сообщения от величины амплитуды аддитивной помехи

3. Рекомендации по устранению недостатков метода

Для устранения первого недостатка не следует использовать для хранения сообщения более трех битов каждого байта контейнера, а лучше ограничиться двумя, разбив большое сообщение на несколько мелких или подобрав более емкий файл-носитель. Кроме того, не стоит забывать контейнер пользовательскими данными «под завязку» – чем меньше будет доля важной информации в общем объеме передаваемого файла, тем сложнее обнаружить факт закладки и тем меньше вероятность повреждения полезной информации при «неумышленных атаках» возникающих в результате действий производимых с графическими файлами (изменение яркости, контраста, обрезка, сжатие и т.д.). На практике обычно рекомендуют скрывать сообщения так, чтобы их размер составлял не более 10% размера контейнера. Также следует применять дублирование сообщения, помещенного в изображение-контейнер, для лучшей сохранности при изменении изображения.

Помимо этого использование самокорректирующегося помехоустойчивого кодирования также должно обеспечить более высокую вероятность обнаружения и извлечения скрываемого сообщения. Также для повышения вероятности обнаружения сообщения целесообразно использовать вероятностное обнаружение меток начала и конца сообщения.

Для преодоления второго недостатка можно встраивать информацию не во все пиксели изображения, а лишь в некоторые из них, определяемые по псевдослучайному закону в соответствии с ключом, известному только законному пользователю (при этом порядок следования битов в сообщении может не совпадать с порядком следования пикселей изображения-контейнера, в который вшил бит). Например: 2-й бит сообщения внедряем в седьмой пиксель

(относительно первого), 3-й бит в пятый пиксель и.т.д. Пропускная способность при этом уменьшается.

Все bmp контейнеры можно разделить на два класса: «чистые» и зашумленные. В «чистых» картинках прослеживается связь между младшим битом, который мы изменяем, и остальными 7-ю битами элементов цвета, а также прослеживается существенная зависимость самих младших битов между собой. Внедрение сообщения в «чистую» картинку разрушает существующие зависимости, что очень легко выявляется пассивным наблюдателем. Если же картинка зашумлена (например, получена со сканера или фотокамеры), то определить вложение становится на порядок сложнее. Таким образом, в качестве файлов-контейнеров для метода LSB рекомендуется использовать файлы которые не были созданы на компьютере изначально.

На практике обычно ограничиваются поиском пикселей, модификация которых не вносит заметных искажений в изображение. Затем из этих пикселей в соответствии с ключом выбираются те, которые будут модифицироваться. Скрываемое сообщение шифруется с применением другого ключа. Этот этап может быть дополнен предварительной компрессией для уменьшения объема сообщения.

Выводы

Использование методов на основе НЗБ без дополнительной обработки не эффективно ввиду низкой стойкости к атакам различного рода. Так, изменение яркости и контраста, сжатие приводят к практически полному уничтожению встраиваемого сообщения, а атаки против стегодекодера, основанные на масштабировании, повороте и обрезке изображения приводят к несрабатыванию детектора.

Повышение надежности и помехоустойчивости данного алгоритма возможно путем применения помехоустойчивого кодирования и «мягкого» детектирования меток. Применение помехоустойчивого кода Хемминга (12,8) позволяет в среднем уменьшить вероятность ошибки на 10%. Применение мягкого детектирования позволило увеличить вероятность срабатывания детектора в среднем на 25%.

В работе впервые оценены характеристики методов на основе НЗБ на фоне аддитивного гауссовского шума. Исследования показали, что при отношении С/Ш равным 10 и выше обеспечивается вероятность ошибки порядка 10^{-3} .

Полученные рекомендации позволяют повысить перспективу использования данного метода, за счет повышения его стойкости и защищенности.

Список литературы: 1. Аграновский А.В., Балакин А.В., Грибунин В.Г., Сапожников С.А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стегоанализ. – М.: Вузовская книга, 2009.2. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К.: МК-Пресс, 2006. — 288 с.3. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М.: Солон-Пресс, 2002. — 272 с.

Поступила в редакцию 17.03.2012

В.В. ЗАЛКІНД, канд.техн.наук, доц.,УИПА, Харьков

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЯКОСТІ ОДЯГУ

Дана загальна характеристика інформаційних технологій, які використовують для оцінки якості одягу. Обґрунтована доцільність використання цифрової фотографії в процесі примірки.

Ключові слова: інформаційні технології, якість одягу, цифрова фотографія.

Дана общая характеристика информационных технологий, применяемых для оценки качества одежды. Обоснована целесообразность использования цифровой фотографии в процессе примерки.

Ключевые слова: информационные технологии, качество одежды, цифровая фотография.

This article represents general features of information technologies for determination quality of clothes. Expedience of application the method of digital picture is well-proven.

Keywords: information technologies, quality of clothes, digital picture

Вступ

Стан розвитку інформаційних технологій може привести до того, що через 5 – 7 років в Україні практично не залишиться стаціонарних магазинів. Більшість з них перейде в електронний режим роботи, а товар можна буде побачити в showroom. Принаймні так оцінив перспективи українського ринку організатор Lviv Ecommerce Forum Ростислав Чайка [1]. Згідно його заявлі, об'єм ринку вітчизняної електронної комерції в 2011 році склав приблизно 700 млн. грн. і що це єдиний український ринок, об'єм якого зростає кожного місяця на 50%. З такими темпами зросту не може порівнятись жоден сегмент економіки.

Тому, викликає питання, наскільки це можливо з точки зору оцінки якості одягу? Для знайдення відповіді, перш за все, необхідно звернутись до споживчих показників якості одягу та визначити їх значимість при використанні інформаційних технологій. Адже саме ці показники завжди мали найбільшу значимість для сумарної оцінки якості одягу [2] та впливатимуть на весь процес проектування одягу в умовах Інтернет – торгівлі.

Аналіз останніх досліджень свідчить про актуальність питання якості одягу в умова панування інформаційних технологій [3,4]. Були запропоновані сучасні технології оцінки якості одягу з використанням нових інформаційних систем та врахуванням інженерно заданої системи “людина - одяг”. Але, жоден з авторів не досліджував можливість застосування інформаційних технологій для оцінки споживчих показників якості одягу з точки зору самих споживачів. Саме від них залежать, як сучасні показники якості одягу, так і перспективи розвитку цих технологій.

Відомо, що проблема в оцінки якості швейних виробів полягає в її суб’єктивному характері. Якість одягу неможливо оцінити тільки за допомогою технічних вимірювальних устроїв. Тому, запропоновано використання методу цифрової фотографії для оцінки якості одягу [5], а саме антропометричної

відповідності. Але антропометрична відповідність одягу не єдиний показник споживчого рівню, який можливо оцінити за допомогою інформаційних технологій. Існують естетичні показники якості одягу, які залежать від зовнішнього оцінювання одягу споживачем. Тому, метою дослідження стає визначення вагомості естетичних показників якості одягу та відповідних перспектив використання інформаційних технологій.

Результати дослідження

Естетичні показники якості одягу займають своє особливе місце в системі якості. Адже одяг, це не тільки предмет промислового виробництва, але і відображення естетичних ідеалів свого часу та внутрішнього світу людини. Тому і класифікації естетичних показників якості одягу дещо відрізняються у різних авторів. Найбільш поширенна класифікація [2] припускає такі показники:

- новизна моделі і конструкції (відповідність сучасному стилю та моді);
- ступень досконалості композиції моделі;
- товарний вид.

Професор Шершнева Л.П. запропонувала більш розширену класифікацію [6], яка враховує вже естетичні питання поєднання суб'єкта та об'єкта, тобто одягу та людини.

Останні дослідження обґрунтували необхідності врахування іміджевих складових при визначенні якості одягу в сучасному суспільстві [3].

Треба відзначити, що всі приведені вище показники якості з легкістю можливо оцінити по фотографічному зображення. Навіть естетичну відповідність одягу і людини не є проблемою для сучасного стану розвитку інформаційних технологій. Мова йде про використання програм комп'ютерної графіки. Наприклад, Photoshop, пропонує використовувати верстви (англ. layer), які можна представити у вигляді прозорої плівки, на яку нанесено зображення. При цьому кількість верств практично не обмежена і основна їх властивість – незалежність від всіх останніх в композиції. Таким чином, якщо фотографічний образ людини розташовується на одній верстві, а фотографія одягу - на іншій, то є можливість “переодягати” людину до тих пір, поки не буде знайдений шуканий образ. До речі, комп'ютерна графіка дозволяє наділити модель візуально – реалістичними ефектами - варіювати колірними рішеннями або фактурами матеріалів, отриманими за допомогою тієї ж цифрової фотографії. В результаті з'являється можливість поєднати людину та одяг.

Деякі Інтернет – магазин [7] вже використовують “віртуальні примірочні”, побудовані на основі подібних програм. Споживачеві пропонують ввести своє фото, на яке буде накладатись зображення одягу.

Ще однією новацією в цьому напрямку стала віртуальна примірочна [8], яка дозволяє споживачеві примірювати одяг у віртуальному дзеркалі та робити фото. Відповідна програма працює в реальному часі – знаходить відображення людини в дзеркалі, контролює його переміщення та на накладає на зображення людини вибраний одяг.

Але недоліком усіх цих спроб є неможливість оцінити якість посадки одягу на фігури людини та, відповідно, повністю оцінити образ людини в одязі. Тому цілком закономірним стала поява тривимірних манекенів [9], які приміряють

одяг замість людини. Вони повторюють не тільки форму тіла людини, але і її рухи, що дозволяє оцінити рівень динамічної відповідності одягу. На жаль, подібні манекени мають проблеми з візуалізацією людини. Крім того, відповідність манекену фігури людини залежить від суб'єктивного фактору - від того, наскільки якісно споживач зніме мірки зі свого тіла.

Вочевидь, що виробники подібної програмної продукції не дуже освідчені в проблемах легкої промисловості. Вони не розуміють усієї складності отримання точних антропометричних даних, а особливо для непрофесіонала, якими і є споживачі.

Таким чином, сучасний стан використання інформаційних технологій для оцінки якості одягу потребує вдосконалення. Тому, для дослідження були виділені основні естетичні показники якості одягу [2] плюс оцінка іміджової складової. Усі ці показники можливо оцінити за допомогою інформаційних технологій (по фотографічному зображенню).

Для визначення рівня естетичності людини в одязі можливо використання “віртуальних примірочних”. Але, споживачеві було запропоновано оцінити важливість свого відображення в реальному дзеркалі. Це дозволить визначити не тільки рівень естетичності людини в одязі, а і рівень антропометричної відповідності. Крім того, стане ключовим питанням в визначенні переваг між класичною та Інтернет – торгівлєю одягом.

Отже, для з'ясування значущості естетичних показників якості одягу методом апріорного ранжування, була розроблена анкета, перша частина якої дає уявлення про мотивацію споживача при виборі одягу. Для спрощення розуміння споживачами складу питань, назви естетичних показників були приведені до загальновживаних висловів, а саме:

1. Відповідність моді (новизна моделі і конструкції).
2. Зовнішній вигляд одягу (ступень досконалості композиції моделі).
3. Якість виготовлення одягу (товарний вид).
4. Підкреслення іміджу (іміджева складова).
5. Відображення в дзеркалі (рівень естетичності поєднання суб'єкту та об'єкту, рівень антропометричної відповідності).

Дослідженім було запропоновано, відповідно до їх уявлень, поставити порядкові номери показників якості (тобто привласнити їм ранг). При цьому найбільш значуча ознака мала ранг рівний 1. Якщо, на їх думку, вагомості двох показників рівні між собою, то дозволялось привласніть їм однакові ранги. Якщо, якісь показники можна не враховувати – викреслити їх.

Для виконання дослідження були залучені жінки молодшої вікової групи, які мають вищу освіту або навчаються у вищих навчальних закладах. Саме вони є найбільш активною групою споживачів одягу. Кількість групи склала 100 осіб, як мінімальний об'єм, який використовується при соціологічних дослідженнях [10].

Аналіз показав, що найвищу значимість мало відображення в дзеркалі та найменшу – підкреслення іміджу. Це свідчить про неготовність покупців до повного переходу до Інтернет – торгівлі, але дозволяє використовувати цифрову фотографію.

Достатньо низький ступень погодженості експертів (коєфіцієнт конкордації = 0,35), привів до необхідності подальшого анкетування. Тому, та сама група споживачів, відповідала на запитання другої анкети, в якій з'ясувалось, чи потрібна споживачеві консультація при купівлі одягу та чому. Передбачено два варіанта відповіді: так чи ні. В результаті було визначено, що більша кількість споживачів потребує консультації, а саме 58%.

Ті споживачі, яким потрібна консультація мусили відповісти, чия саме консультація їм потрібна:

1. Продавця.
2. Незнайомої людини.
3. Подруги (друга).
4. Коханої людини.
5. Родичів.

Результати анкетування показали, що жоден зі споживачів не потребує консультації продавця, 50% - скористаються порадою подруги та по 25% набрали родичі, кохана людина або незнайомці. Це має логічне пояснення – продавець зацікавлений в покупці, тому покупці підсвідомо йому не довіряють.

Третім було питанням до всієї групи, чи простіше зробити вибір одягу при можливості сфотографуватись в ньому і оцінити фотографічне зображення. В результаті, було виявлено, що ті особи, які потребують консультації позитивно віднеслись до ідеї фотографування.

Висновки

Було встановлено, що поширення інформаційних технологій для оцінки якості одягу є перспективним напрямком, але на сьогодні не існує технології яка повністю задовольнить споживача та змусить відмовитись від стаціонарних магазинів. При цьому більша кількість споживачів при купівлі одягу не можуть самостійно визначитись. Вони потребують консультації та в ролі консультантів вони бачать не продавця, а інших осіб. Це свідчить на користь фотографування при примірки одягу. Адже отримати консультацію по фото за допомогою Інтернету, значно простіше, чим привести консультанта до магазину. Таким чином, актуальним є використання таких інформаційних технологій, як цифрова фотографія для визначення естетичних показників якості одягу при купівлі в стаціонарних магазинах.

Список літератури: 1. В Украине скоро не останется стационарных магазинов [Електронний ресурс] / Mail.ru/ - режим доступу:WWW URL: <http://news.mail.ru/inworld/ukraine/economics/5903648/> - 16.05.2011 р. – Загл. з екрану 2. Конструирование одежды с элементами САПР: Учеб. для вузов/ Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов и др. - 4-е изд., перераб. и доп.; Под. ред. Е.Б. Кобляковой. - М.: Легпромбытиздан, 1988. - 464 с. 3. Скрыльникова О.А. Разработка технологии комплексной оценки качества на этапе проектирования и производства одежды [Текст]: дис. ...канд. тех. наук / О.А. Скрыльникова. – М., 2008. – 196 с. 4. Гогаева О.В. Разработка технологии прогнозирования качества одежды при ее проектировании с использованием новых информационных систем [Текст]: дис. ...канд. тех. наук / О.В. Гогаева. – М., 2006.–256с. 5. Залкінд В.В., Рябчиков М.Л. Застосування методу цифрової фотографії для визначення якості одягу [Текст] / В.В. Залкінд, М.Л. Рябчиков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010 - №4. – С. 63-65. 6. Шершинева Л.П. Качество одежды -2-е изд., испр. и доп. / Шершинева Л.П. – М.: Легпромбытиздан, 1985. – 192 с.7. Примерочная одежды ONLINE

[Електронний ресурс] / VirtualDress.ru / - режим доступу: \www/ URL: http://www.virtualdress.ru - 26.02.2012 р. – Загл. з екрану 8. WelCAR – FASHION виртуальна примерочна [Електронний ресурс] / RuTube / - режим доступу: http: \www/ URL: //rutube.ru/tracks/4928639.html - 26.02.2012 р. – Загл. з екрану 9. Робот, який меня нарядил [Електронний ресурс] / E-xecutive.ru. / - режим доступу:\www/URL: http://www.e-xecutive.ru/marketing/announcement/1556021/- 26.02.2012 р. – Загл. з екрану 10. Орлов А.И. Основные идеи современного маркетинга. [Текст] / А.И. Орлов// Маркетинг успеха. - 2000. №12. - С.21-39.

Поступила в редакцию 17.03.2012

УДК 681.3

Л.С. АБРАМОВА, канд.техн.наук, доц., ХНАДТУ, Харьков,

И.С. НАГЛЮК, канд.техн.наук, доц., ХНАДТУ, Харьков,

С.В. КАПИНУС, ассис., ХНАДТУ, Харьков

АНАЛИЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АСУДД

У статті розглядається структура систем підтримки прийняття рішень. Особливу увагу приділено етапам процедури прийняття рішень, а також функціям елементів систем підтримки прийняття рішень на рівні прийняття рішень в управлінні дорожнім рухом.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, етапи процедури прийняття рішень, база даних, база моделей, система управління інтерфейсом.

В статье рассматривается структура систем поддержки принятия решений. Особое внимание удалено этапам процедуры принятия решений, а также функциям элементов систем поддержки принятия решений на уровне принятия решений в управлении дорожным движением.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, этапы процедуры принятия решений, база данных, база моделей, система управления интерфейсом.

The article deals with the structure of decision support systems. Particular attention is paid to the stages of decision-making procedures, and functions of the elements of decision support systems in decision-making in the management of traffic.

Keywords: decision support system, the stages of decision-making procedures, data base, the base model, the control system interface.

1. Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР) и соответствующая им информационная технология, появились в работах американских ученых в конце 1970-х - начале 1980-х гг., чему способствовало широкое распространение

персональных
компьютеров,
стандартных пакетов
прикладных программ,
а также начало создания
систем искусственного
интеллекта.

Главной
особенностью

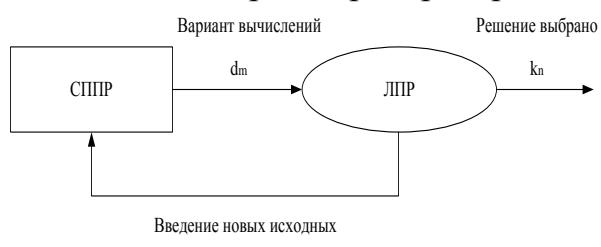


Рис. 1. Информационная технология поддержки принятия решений как итерационный процесс: dm – вырабатываемые возможные решения; kn – возможные состояния.

информационной технологии поддержки принятия решений является качественно новый метод организации взаимодействия человека и компьютера. Разработка решения, которое является основной целью этой технологии, происходит в результате итерационного процесса (рис. 1), в котором участвуют [1,2]:

- система поддержки принятия решений в составе вычислительного звена и объекта управления;
- человек как элемент управляющего звена, задающего входные данные и оценивающего полученный результат вычислений на компьютере.

Процедура принятия решений в СППР включает следующие основные этапы с приведенными методами, которые применяются на каждом шаге процедуры рисунок 2 [1,2,3].

Если СППР вырабатывает m возможных решений $d_1, d_2, d_3 \dots d_m$, а у ЛПР есть n возможных состояний $k_1, k_2, k_3 \dots k_n$, тогда условия игры задаются матрицей выигрышей, которая характеризуется верхней и нижней ценой игры (в зависимости от того, что требуется в определенной ситуации) [2,4].

Под результатом решения $e_{ij} = e(d_i ; k_j)$ понимают оценку, соответствующую варианту d_i и условиям k_j , которые характеризуют прибыль, полезность или надёжность решения.

Называется такой результат полезностью решения. Тогда матрица выигрышей имеет вид:

	k_1	k_2	.	k_n
d_1	e_{11}	e_{12}	.	e_{1n}
d_2	e_{21}	e_{22}	.	e_{2n}
.
d_m	e_{m1}	e_{m2}	.	e_{mn}
			.	

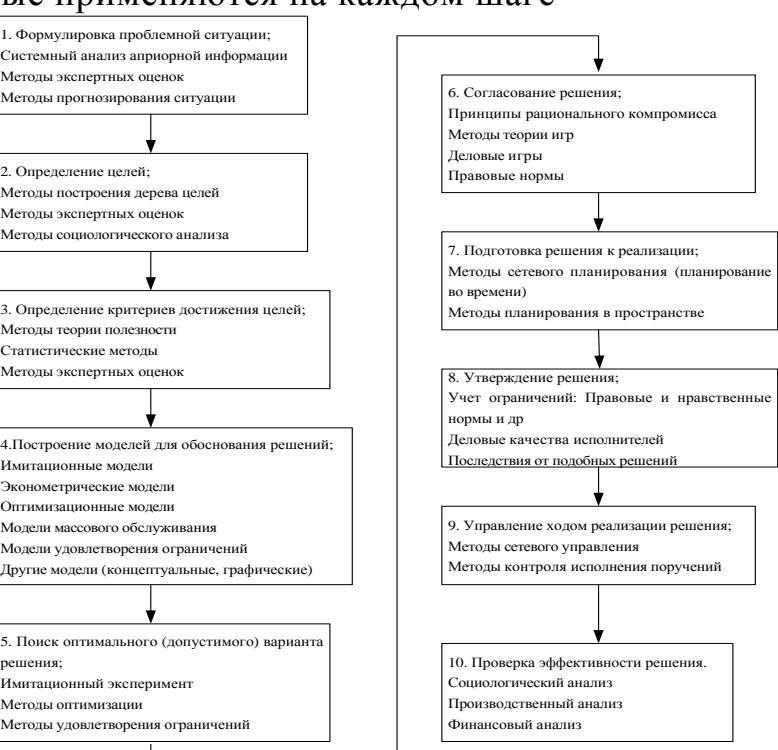


Рис. 2. Этапы и методы в процедуре принятия решений в СППР

Окончание итерационного процесса происходит по решению человека. В этом случае можно говорить о способности информационной системы совместно с пользователем создавать новую информацию для принятия решений. Дополнительно к этой особенности информационной технологии поддержки принятия решений, можно указать еще ряд ее отличительных характеристик [4]:

- ориентация на решение плохо структурированных (формализованных) задач;
- сочетание традиционных методов доступа и обработки компьютерных данных с возможностями математических моделей и методами решения задач на их основе;
- направленность на непрофессионального пользователя компьютера;
- высокая адаптивность, обеспечивающая возможность приспосабливаться к особенностям, имеющегося технического и программного обеспечения, а также требованиям пользователя.

2. Основные компоненты СППР

Рассмотрим основные компоненты системы поддержки принятия решений (рис. 3), а также функции составляющих ее блоков, которые определяют основные технологические операции процесса [1,3].

В состав системы поддержки принятия решений входят три главных

компоненты: база
данных,
база
моделей
и
программная
подсистема,
которая состоит из
системы
управления базой
данных (СУБД),
системы
управления базой
моделей (СУБМ) и
системы
управления
интерфейсом
между

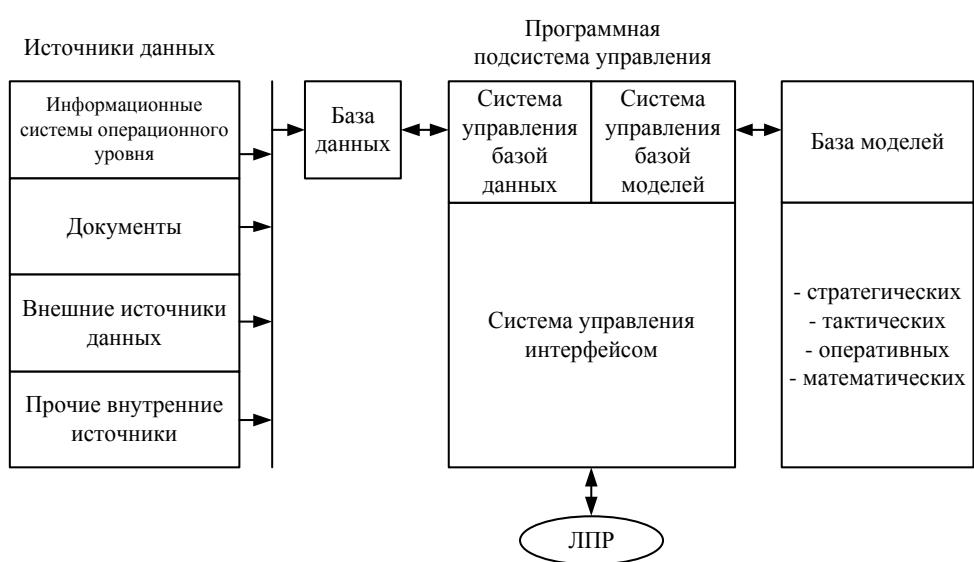


Рис. 3. Структура компонентов информационной
технологии поддержки принятия решений

пользователем и компьютером. Рассмотрим их функции.

База данных (БД) выполняет в информационной технологии поддержки принятия решений важную роль, в проведении расчетов на основе математических моделей. Рассмотрим источники данных и их особенности, согласно функциям уровней систем управления дорожным движением [5].

1. Часть данных поступает от информационной системы операционного уровня. Для их эффективного применения необходима предварительная обработка. Для этого имеются две возможности:

- использовать для обработки данных систему управления базой данных, входящую в состав системы поддержки принятия решений;

- сделать обработку за пределами системы поддержки принятия решений, создав для этого специальную базу данных. Этот вариант более предпочтителен при произведении большого количества операций. Обработанные данные об операциях образуют файлы, которые для повышения надежности и скорости доступа хранятся за пределами системы поддержки принятия решений.

2. Помимо данных об операциях для функционирования системы поддержки принятия решений требуются и другие внутренние данные, например инженерные данные (параметры топологии улично-дорожной сети (УДС)), которые должны быть своевременно собраны, введены и поддержаны.

3. Важное значение, особенно для поддержки принятия решений на верхних уровнях управления, имеют данные из внешних источников.

4. В настоящее время широко исследуется вопрос о включении в базу данных еще одного источника данных - документов, включающих в себя правила дорожного движения, ГОСТы, приказы. Если содержание этих документов будет записано в памяти и затем обработано по некоторым ключевым характеристикам, то система получит новый мощный источник информации.

Система управления данными должна обладать следующими возможностями:

- составление комбинаций данных, получаемых из различных источников, посредством использования процедур агрегирования и фильтрации;
 - быстрое прибавление или исключение того или иного источника данных;
 - построение логической структуры данных в терминах пользователя;
 - использование и манипулирование неофициальными данными для экспериментальной проверки рабочих альтернатив пользователя;
- обеспечение логической независимости этой базы данных от других

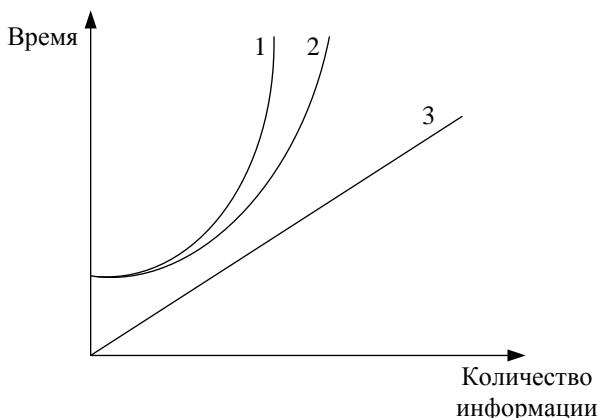
- операционных баз данных, функционирующих в рамках системы [3].

Также можно отметить, что при увеличении количества информации увеличивается общее время принятия решений (рис. 4). Из этого следует вывод, что данные в БД должны быть структурированными, обобщенными до минимально требуемого уровня и не должны содержать ненужной информации [4].

Целью создания моделей является описание и оптимизация параметров некоторого объекта или процесса.

Применение моделей обеспечивает проведение анализа

в системах поддержки принятия решений. Модели, которые основываются на математическом описании проблемы, при помощи определенных алгоритмов позволяют выявить информацию, полезную для принятия правильных решений.



Условные обозначения:

- 1 – общее время принятия решения;
- 2 – время работы алгоритма;
- 3 – время передачи данных.

Рис. 4. Влияние количества информации
БД на динамику СПР

Применение моделей в составе информационных систем начинается со статистических методов и методов анализа, которые реализуются командами алгоритмических языков.

Известны классификации [1,2,3] типов моделей и способов их применения, области возможных приложений, способу оценки переменных.

По цели применения модели подразделяются на оптимизационные, связанные с нахождением точек экстремума некоторых показателей (оператору центра управления дорожного движения необходимо знать, какие мероприятия приведут к оптимизации уровня обслуживания УДС или минимизации времени транспортных задержек) и описательные, которые описывают поведение некоторой системы (УДС, организации дорожного движения (ОДД)) и не предназначенные для целей управления (оптимизации).

По способу оценки переменных, модели классифицируются на детерминированные, использующие оценку переменных в виде численного значения при конкретных значениях исходных данных, и стохастические, оценивающие переменные несколькими параметрами, так как исходные данные заданы вероятностными характеристиками.

По области возможных приложений модели могут быть специализированные, предназначенные для использования только одной системой, и универсальные - для использования несколькими системами.

В управлении дорожным движением применяются специализированные модели для описания сложных динамических систем.

В системах поддержки принятия решения база моделей состоит из стратегических, тактических и оперативных моделей соответствующих уровням управления, а также математических моделей в виде совокупности модельных блоков, модулей и процедур, из которых состоит алгоритм управления в АСУДД.

Стратегические модели используются на высших уровнях управления для установления целей управления, предсказания изменений состояния улично-дорожной сети после выбора управляющего параметра, а также осуществления общего контроля за организацией дорожного движения. Для стратегических моделей характерны значительное множество переменных, представление данных в сжатой агрегированной форме. Часто получение этих данных базируется на внешних источниках и базах данных. Период планирования в стратегических моделях, как правило, измеряется в годах. Здесь применяют модели детерминированные, специализированные для поиска оптимального решения при возможных ситуациях на УДС. Тогда, оценочная функция (G) принимает вид:

$$G: Y \cdot U \cdot X \rightarrow E \quad (1)$$

$$P: X \cdot U \rightarrow X \quad (2)$$

где X - множество входных данных;

Y - множество выходных данных;

U - множество управляющих воздействий;

E - показатель эффективности управления.

P - функция определяющая структуру и содержание задачи принятия решения.

Тактические модели применяются для обработки оперативных данных о состоянии улично-дорожной сети, для сбора информации о параметрах транспортных потоков, для расчета параметров зонального и координированного управления дорожного движения, а также контроля работоспособности технических средств регулирования. В этом случае могут потребоваться данные из внешних источников, но основное внимание при реализации данных моделей должно быть уделено внутренним данным системы. Обычно тактические модели реализуются как детерминированные и оптимизационные, при этом возникает проблема наличия множества критериев, каждый из которых характеризует тот или иной параметр дорожного движения (ДД), поэтому необходимо решать многокритериальные задачи методами векторной оптимизации [5]:

$$E(x, u, t) = \int_{t_0}^T F(x, u, t) dt \rightarrow \max \quad (3)$$

где $x(t)$ - вектор-функция состояния ДД;

$u(t)$ - вектор-функция управления;

t_0, T - начальный и конечный моменты управления.

Оперативные модели используются на низших уровнях управления для поддержки принятия оперативных решений с периодом, измеряемым часами и минутами. Применение этих моделей возможно при управлении светофорной сигнализацией, информировании участников движения о режимах движения транспортных потоков, при мониторинге транспортных потоков. Основной особенностью задачи принятия оперативных решений является ограниченность времени, выделяемого на выработку решения. При этом в большинстве случаев выбирается наиболее «быстрый», но менее точный алгоритм. Это приводит к необходимости минимизировать скалярный критерий (оценочную функцию) G вида:

$$G: Y \cdot H \cdot U \cdot X \rightarrow E \quad (4)$$

где H - множество случайных возмущений;

Математические модели состоят из совокупности модельных блоков, модулей и процедур, реализующих математические методы. Сюда могут входить процедуры линейного программирования, статистического анализа временных рядов, регрессионного анализа от простейших процедур до сложных. Модельные блоки, модули и процедуры могут применяться как отдельно, так и комплексно для построения и поддержания моделей.

Система управления базой моделей должна обладать следующими возможностями: создавать новые модели или изменять существующие, поддерживать и обновлять параметры моделей, манипулировать моделями.

Из проведенного анализа баз данных (БД) и баз моделей (БМ), можно выделить их основные функции (таблица 1). Эффективность и гибкость информационной технологии во многом зависят от характеристик интерфейса системы поддержки принятия решений. Интерфейс определяет: язык пользователя; язык сообщений компьютера, организующий диалог на экране дисплея; знания пользователя.

Таблица. Основные функции баз данных и баз моделей

БД	БМ
1. Сбор данных	1. Анализ данных
2. Разделение наборов данных	2. Выявление скрытых тенденций
3. Структурирование данных	3. Использование выявленных закономерностей для предсказания неизвестных значений
4. Обобщение данных	4. Анализ исключений
5. Хранение данных	5. Перебор различных стратегий развития
	6. Сравнение альтернатив

Совершенствование интерфейса системы поддержки принятия решений определяется успехами в развитии каждого из трех указанных компонентов. Интерфейс должен обладать следующими возможностями:

- манипулировать различными формами диалога, изменяя их в процессе принятия решения по выбору пользователя;
- передавать данные системе различными способами;
- получать данные от различных устройств системы в различном формате;
- гибко поддерживать (оказывать помощь по запросу, подсказывать) знания пользователя.

Выводы

Проведенный анализ структуры системы поддержки принятия решений (СППР), позволил сделать вывод, что принципы построения СППР применимы для организации СППР в системах управления дорожным движением. При этом корректное формирование баз данных и баз моделей позволит перейти на новый (интеллектуальный) уровень организации систем управления дорожным движением и созданию интеллектуальных систем управления дорожным движением.

Список литературы: 1. Синюк, В.Г. СППР: основные понятия и вопросы применения / В.Г. Синюк, А.П. Котельников. - Белгород, 1998. - 79 с 2. Матвеев, Л.А. Системы поддержки принятия решений / Л.А. Матвеев. - СПб. 1993. - 80 с. 3. http://www.ssti.ru/kpi/informatika/Content/biblio/b1/inform_man/g13x.htm 4. Дубовой В.М., Ковалюк О.О. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 185 с. 5. Абрамова Л.С. Модели управления дорожным движением для АСУДД // Вестник ХНАДУ. – 2010. - №50. – С. 57-63.

Поступила в редакцию 17.03.2012

УДК 005. 8: 658.051.012

Т.В. КЛИМОВА, канд.техн.наук,, доц., доц., НметАУ, Днепропетровск

ИЕРАРХИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРЕДПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКЕ ПРЕДПРИЯТИЯ И УСЛОВИЯ ОТБОРА ПРОЕКТОВ

У статті вперше представлена ієархічна схема ухвалення рішень при передпроектній оцінці підприємства і умовах формування портфеля проектів на основі аналізу стратегій розвитку підприємства, що враховує не лише поточний стан підприємства, але і параметри діяльності

підприємства в майбутньому, які визначаються виходячи з попередньої оцінки портфеля проектів і вибраних стратегій розвитку.

Ключові слова: передпроектна оцінка, ієрархия прийняття рішень, портфель проектів

В статье впервые представлена иерархическая схема принятия решений при предпроектной оценке предприятия и условия формирования портфеля проектов на основе анализа стратегий развития предприятия, учитывающие не только текущее состояние предприятия, но и параметры деятельности предприятия в будущем, которые определяются исходя из предварительной оценки портфеля проектов и выбранных стратегий развития.

Ключевые слова: предпроектная оценка, иерархия принятия решений, портфель проектов

In the article the hierarchical chart of making decision is first presented at the pre-project estimation of enterprise and terms of portfolio of projects construction on the basis of analysis of strategies of development of enterprise, taking into account not only current status of enterprise but also parameters of activity of enterprise in the future, which are determined coming from the preliminary estimation of brief-case of projects and chosen strategies of development.

Key words: pre-project estimation, hierarchy of making decision, brief-case of projects

1. Введение

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к области управления проектами. Одним из актуальных вопросов, встающих перед управленцами и инвесторами является полнота предпроектной оценки предприятия. А также сложность принятия решений на основе стой оценки, поскольку приходится учитывать огромное количество факторов, зачастую разноплановых. На этапе проведения предпроектной оценки предприятия всегда возникает необходимость проанализировать состояние предприятия на всех его уровнях: как стратегических, так и производственных. В основе анализа должны лежать методы, которые позволяют принимать, в конечном итоге, комплексное решение, которое бы способствовало развитию предприятия в рамках его основной стратегии, а, может быть, и расширяло бы ее.[1]

Только в таких условиях сегодня можно успешно противостоять конкуренции на рынке товаров и услуг. Учет стратегий деятельности предприятия особенно необходим в ходе принятия решений относительно выбора и реализации новых проектов.

2. Предпроектный анализ предприятия

Рассматривая будущий проект, необходимо предусмотреть сразу несколько многовекторных условий. Исходя из экономической необходимости, обычно используют параметры, которые учитываются при предпроектной оценке.

1. Параметры проекта X^π .

В рыночной экономике принято характеризовать результаты проекта следующими показателями:

а) чистый приведенный эффект проекта ($NPV_\pi, \pi \in \Pi$):

$$NPV_\pi = -IC_\pi + \sum_{t=1}^T \frac{S_\pi(t) - R_\pi(t)}{(1+d_t)^t},$$

где $S_\pi(t), R_\pi(t)$ – поступления и расходования денежных средств по проекту π соответственно в течении прогнозного периода $t = 1 \dots T^\pi$; d_t – ставка

дисконтирования в момент времени t ; IC_π – вкладываемые в проект инвестиции [2];

б) индекс доходности (PI_π, p ОР):

$$PI_\pi = \left[\sum_{t=1}^T \frac{S_\pi(t) - R_\pi(t)}{(1+d_t)^t} \right] : IC_\pi;$$

в) срок окупаемости (PP_π, p ОР):

$$PP_\pi = \min T, \text{ при котором } \sum_{t=1}^T \frac{S_\pi(t) - R_\pi(t)}{(1+d_t)^t} > IC_\pi;$$

г) норма доходности (IRR_p, p ОР) определяется из выражения:

$$-IC_\pi + \sum_{t=1}^T \frac{S_\pi(t) - R_\pi(t)}{(1+IRR_\pi)^t} = 0$$

д) средний прирост доходов ($GR_\pi, \pi \in \Pi$):

$$GR_\pi = \sqrt[T]{\frac{\sum_{t=1}^T (S_\pi(t) - R_\pi(t))}{IC_\pi}} - 1 = 1 + d_t \sqrt[T]{\frac{NPV_\pi}{IC_\pi}} + 1 - 1. \quad [3]$$

Кроме этого, надо ввести ряд параметров, определяющих потребность проекта в различного рода ресурсах Res^π :

е) параметры материлоёмкости проекта. Обозначим через $M_{j\pi}(t)$ потребность в материальных ресурсах вида j для выполнения проекта π в период t в натуральном (объёмном) выражении. Множество $M_{j\pi}(t), j = 1 \dots N^M, t = 1 \dots T^\pi$ представляет собой модель материлоёмкости проекта, где N^M – количество видов материальных ресурсов;

ж) параметры фондоёмкости. Потребность в технологическом оборудовании и других основных фондах определим следующим образом. Обозначим через $F_{i\pi}(t)$ потребность в оборудовании вида i для выполнения проекта π в период t в фондо-часах. Множество $F_{i\pi}(t), i = 1 \dots N^F, t = 1 \dots T^\pi$ представляет собой модель фондоёмкости проекта, где N^F – количество видов оборудования;

з) параметры трудоёмкости. Обозначим через $K_{m\pi}(t)$ потребность в сотрудниках специальности m для выполнения проекта π в период t в человеко-часах. Множество $K_{m\pi}(t), m = 1 \dots N^K, t = 1 \dots T^\pi$ представляет собой модель трудоёмкости проекта, где N^K – количество персонала требуемой квалификации.

2. Параметры предприятия P .

Эта группа параметров определяет технологические возможности предприятия:

а) технологическое оборудование и другие основные фонды. Обозначим через $F_i^{Pr}(t)$ фонд времени работы оборудования вида i в период t в фондо-часах.

Множество $F_i^{Pp}(t), i = 1 \dots N^F, t = 1 \dots T$ представляет собой модель основных фондов предприятия.

б) кадровый состав предприятия. Обозначим через $K_m^{Pp}(t)$ фонд времени работы сотрудников специальности m в период t в человеко-часах. Множество $K_m^{Pp}(t), m = 1 \dots N^K, t = 1 \dots T$ представляет собой модель кадрового состава предприятия.

3. Деятельность заказчика.

Обозначим через $S_\pi(t)$ величину поступлений денежных средств от заказчика по проекту π в период t .

4. Внешняя среда, внутренняя среда предприятия и риски

Влияние на проект внешней среды, как отмечалось ранее, проявляется, прежде всего в том, что при реализации проекта всегда присутствует некоторая степень неопределенности, следствием чего является то, что на любой проект оказывает влияние множество факторов риска Φ' и Φ'' , т.е. любому проекту присущ риск. Существует множество методов анализа рисков [3], позволяющих оценить вероятность возникновения неблагоприятного события r при выполнении проекта π (обозначим её $p_{r\pi}$) и связанную с ним ожидаемую величину убытков $S_\pi^{y\delta}(r)$. Модель рисков проекта можно определить как множество пар $p_{r\pi}, S_\pi^{y\delta}(r)$. Аналогичным образом можно определить и внутренние риски проекта.

Приступая к предпроектному анализу состояния следует определить параметры стратегии предприятия.

Параметры стратегии Str.

а) основным параметром стратегии целесообразно определить резервный фонд предприятия, который, как правило, создается для ликвидации последствий неблагоприятных событий. Обозначим его величину через S^{rez} . Величина резервного фонда будет являться основным критерием определения базовой стратегии предприятия;

б) время реализации стратегии T , которое будет определять период, на который формируется портфель проектов.

Все указанные параметры должны быть учтены при формировании портфеля проектов.

Определим возможные варианты использования прибыли от реализации портфеля проектов:

1. Вся прибыль от реализации портфеля проектов идет в накопление и не расходуется на текущую деятельность в течение определенного периода времени T .

2. Прибыль, полученная от реализации портфеля проектов, направляется на реализацию новых проектов, т.е. процесс является непрерывным в течение определенного периода T .

3. Прибыль, полученная от реализации портфеля проектов, направляется на развитие предприятия, а не на реализацию новых проектов. Процесс развития предприятия также может быть представлен как комплекс проектов, однако набор правил по отбору проектов развития является иным, нежели для проектов, выполняемых для стороннего заказчика.

4. Прибыль от реализации портфеля проектов направляется и на развитие предприятия, и на реализацию новых проектов.

В первых двух случаях необходимо решать задачу управления портфелем проектов и распределения денежных средств во времени, во втором и в третьем – в рамках портфеля необходимо рассмотреть также проекты развития предприятия и в моделях учесть возможность реинвестирования капитала.

Если определить в качестве базовых три стратегии: выживания, стабилизации и роста, то первый случай соответствует стратегии выживания, т.е. получение прибыли и минимизация средств на управление внешними рисками (накопление прибыли для дальнейшего этапа принятия решений). Стратегии стабилизации будет соответствовать второй случай, который предполагает использование только собственных средств для дальнейшей деятельности (отсутствие внешнего инвестирования) и частичное управление внешними рисками. Стратегии роста будут соответствовать третий и четвертый случай – накопленная прибыль будет направляться на улучшение или увеличение фонда предприятия и регулирование деятельности на рынке.

Каждой из ситуаций соответствует своя модель и свой метод формирования портфеля проектов и выбор стратегии, которые будут зависеть от текущего состояния предприятия. В данном исследовании основное внимание уделено второму случаю, который наиболее типичен для производственных предприятий машиностроительной отрасли в сложных рыночных условиях Украины.

Таким образом, в рамках данного исследования необходимо разработать метод формирования портфеля проектов, имеющих длительный жизненный цикл, с учётом технологических возможностей предприятия и изменения параметров, как проектов, так и предприятия во времени в условиях отсутствия внешнего инвестирования

Структурная схема метода представлена на рис. Предлагаемый метод предполагает проведение анализа и принятие управленческих решений на трех уровнях управления: стратегическом (руководство предприятий), операционном (функциональные руководители) и оперативном (начальники цехов, отделов, участков).[4] При этом, в процессе отбора проектов к реализации учитывается не только текущий уровень обеспеченности ресурсами, но и объемы требуемых ресурсов на будущие периоды деятельности предприятия.

Формирование портфеля проектов будет осуществляться в несколько этапов в соответствие с уровнями планирования. Для формирования предварительного портфеля проектов необходимо оценить резервный фонд предприятия, который может быть им использован для покрытия убытков в случае наступления рисков портфеля. Таким образом, на данном этапе будут отобраны те проекты, которые могут быть реализованы в рамках

стратегии стабилизации без привлечения дополнительных инвестиций.

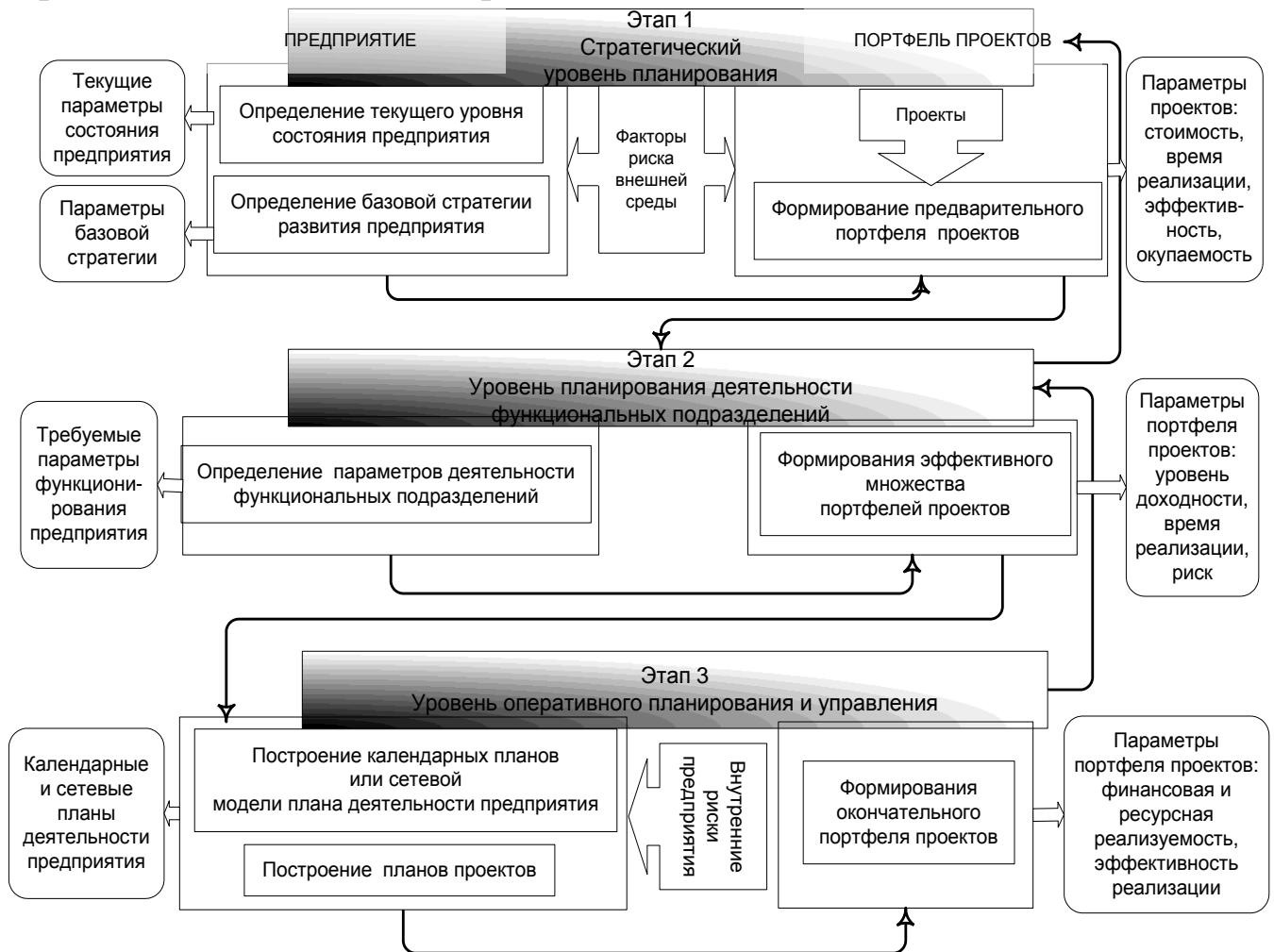


Рис. Структурная схема метода формирования портфеля проектов

Также при отборе проектов в портфель будет учитываться время реализации портфеля проектов при условии их последовательного выполнения (пессимистический вариант реализации проектов). Время реализации портфеля проектов не должно превышать временные горизонты стратегии.

Данные показатели могут быть получены на основе анализа текущего состояния и базовой стратегии предприятия.

На каждом этапе принятие решений будет осуществляться в соответствии с временным горизонтом планирования на основе оценки и анализа множества показателей, характерных для данного уровня. [5,6]

Проекты $\pi \in \Pi$, включенные в портфель, используют различные виды ресурсов, исходя из общей величины вкладываемых инвестиций. Очевидно, что должны выполняться следующие соотношения:

$$IC = \sum_{\pi \in \Pi} IC_{\pi}, \quad (1)$$

$$F_i^{\Pi p}(t) \geq \sum_{\pi \in \Pi} F_{i\pi}(t) \quad (2)$$

$$K_m^{\Pi p}(t) \geq \sum_{\pi \in \Pi} K_{m\pi}(t) \quad (3)$$

где IC_π - инвестиции в каждый проект $\pi \in \Pi$; $F_i^{Ip}(t)$ - основные ресурсы предприятия в период $t = 0..T$; $K_m^{Ip}(t)$ - кадры предприятия в период $t = 0..T$.

Начальные инвестиции IC_π есть начальная стоимость части портфеля, состоящая из π проекта. Величину IC_π можно отобразить в вектор $Res^\pi(t)$ для каждого проекта, определив начальные инвестиции в виде структуры основных и оборотных фондов предприятия. Тогда, по каждому виду ресурса будут иметь место отношения:

$$z_\pi = \frac{\mathfrak{I}_\pi(t)}{Res^\pi(t)}; z_{j\pi} = \frac{M_{j\pi}(t)}{Res^\pi(t)}; z_{i\pi} = \frac{F_{i\pi}(t)}{Res^\pi(t)}; z_{m\pi} = \frac{K_{m\pi}(t)}{Res^\pi(t)} \quad (4)$$

где z_π - доля используемых денежных средств, вкладываемых в проект π ; $z_{j\pi}$ - доля используемых материальных ресурсов в проекте π ; $z_{i\pi}$ - доля используемых основных фондов в проекте π ; $z_{m\pi}$ - доля используемых человеческих ресурсов в проекте π .

Из 1, 2 и 3 следует, что:

$$\sum_{\pi \in \Pi} z_\pi = 1; \sum_{\pi \in \Pi} z_{j\pi} = 1, \sum_{\pi \in \Pi} z_{i\pi} = 1, \sum_{\pi \in \Pi} z_{m\pi} = 1. \quad (5)$$

Эти соотношения являются основными ограничениями, которым должно удовлетворять множество, описывающее портфель. При этом должны выполняться дополнительные ограничения:

$$z_\pi \geq 0, z_{j\pi} \geq 0, z_{i\pi} \geq 0, z_{m\pi} \geq 0, \pi \in \Pi. \quad (6)$$

Дополнительные ограничения показывают, что в процессе реализации проектов невозможно использовать заемные средства, т.е. формируемый портфель проектов будет реализовываться при отсутствии внешнего инвестирования и использовании иных фондов и ресурсов, не принадлежащих предприятию.

Таким образом, портфель проектов – это набор векторов $z = z_\pi, \pi \in \Pi$, $z_j = z_{j\pi}, \pi \in \Pi$, $z_i = z_{i\pi}, \pi \in \Pi$, $z_m = z_{m\pi}, \pi \in \Pi$, где компоненты каждого вектора описывают распределение долей капитала между отдельными проектами, входящими в портфель и удовлетворяющие ограничениям (5) и (6).

Выводы

В данном материале впервые представлена иерархическая схема принятия решений при предпроектной оценке предприятия и условиях формирования портфеля проектов на основе анализа стратегий развития предприятия, а, также, кратко изложен метод, позволяющий формировать портфель проектов, учитывающий не только текущее состояние предприятия, но желаемые (требуемые) параметры деятельности предприятия в будущем, которые определяются исходя из предварительной оценки портфеля проектов и выбранных стратегий развития. Применение данного метода позволяет последовательно проводить анализ проектов с целью выявления возможности их реализации на конкретном предприятии с учетом влияния факторов риска внешней среды, согласовывать план реализации портфеля проектов с планами предприятия на различных уровнях планирования, отбирать наиболее

перспективные проекты к реализации в соответствие с определенной стратегией развития.

Список: литературы: 1. Мазорчук М.С., Яшина Е.С., Климова Т.В. Комплексное планирование реализации портфеля проектов на предприятиях машиностроительной отрасли // Авіаційно-космічна техніка і технологія. - 2006.- №4(16). - С.65-70. 2. Бирман Г., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов/ Пер с англ. Под ред. Л.П. Белых. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.– 631 с. 3.Балабанов И.Т. Риск – менеджмент. – М.: “Финансы и статистика”, 1996. – 192 с.4.Климова Т.В. Метод формирования портфеля проектов в условиях отсутствия внешнего инвестирования // Сборник научных трудов Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Выпуск 41, часть 3 . – Днепропетровск: 2007. – С. 66-73 5. Шарп, Уильям Ф. и др. Инвестиции: Пер. с англ. /Уильям Ф. Шарп, Гордон Дж. Александр, Джейфри В. Бэйли. – М.: Изд. дом “”ИНФРА-М”, 1997. – 1024 с 6. Панджер Х., Бойль Ф., Кокс С. и др. Финансовая экономика с приложениями к инвестированию, страхованию и пенсионному делу , Пер с англ.. – М: Янус-К, 2005. – 546 с.

Поступила в редакцию 17.03.2012

УДК 658.783.2:658.27

Ю.Г. КАЧАН, докт.техн.наук, проф., зав.каф., ЗДІА, Запоріжжя,
В.Л. КОВАЛЕНКО, канд.техн.наук, доц., ЗДІА, Запоріжжя,
А.Г. ЛОХМАТОВ, канд.техн.наук, доц., ЗДІА, Запоріжжя

ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті поставлена задача перевірки адекватності розробленої математичної моделі системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів на прикладі промислових підприємств металургійного профілю.

Ключові слова: математична модель системи збору, гідроенергетичні ресурси.

В статье поставлена задача проверки адекватности разработанной математической модели системы сбора вторичных гидроэнергетических ресурсов на примере промышленных предприятий металлургического профиля.

Ключевые слова: математическая модель системы сбора, гидроэнергетические ресурсы.

In this article set the task of checking the adequacy of the model system of the collection secondary power resources on the example of metallurgical industry enterprises.

Keywords: mathematical model the system of the collection, hydropower resources.

Для практичного застосування математичної моделі системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств [1] необхідно, насамперед, перевірити її придатність на конкретному об'єкті, тобто довести адекватність. Оскільки конфігурація вже існуючої системи промислового підприємства є незмінною, то визначальною величиною, що впливає на енергетичні показники систем гідроенергетичної утилізації є витрата, що надходить від джерела вторинної води. Тому, очевидно, слід перевірити і

спрогнозувати саме цю величину, що, в результаті, забезпечить нові можливості в питаннях оцінки потенціалу вторинних гідроенергетичних ресурсів.

Адекватність моделі розглянемо на прикладі електросталеплавильного цеху №2 ВАТ «Дніпроспецсталь», який вже має систему збору, що використовується на охолодження встановлених і введених в експлуатацію чотирьох сталеплавильних печей.

Параметри об'єкту:

електросталеплавильна піч ДСП – 50 №2,4,5,6;

номінальна місткість – 50 т;

фонд робочого часу – 7992 год/рік ;

середньорічна витрата води на охолодженняожної печі – 435 м³/год .

Витрата води поступово відстежувалася у період з 01.06.11 по 03.08.11 р. з інтервалом 1 година за допомогою регистратора серії ДІСК-250 класу точності 1. Отримавши статистичну вибірку витрат кожного з вищезазначених джерел вторинної води були задані параметри стохастичних генераторів у відповідності з [2]. Витрати води на охолодження печей ДСП – 50 даного об'єкта гідроенергетичної утилізації підпорядковуються закону розподілу Пуассона з параметрами $\lambda = 3,56$ і $k = 1\dots12$ [2].

Параметри існуючої системи збору вторинної води об'єкта, що розглядається, передбачають відведення останньої відожної з печей окремим трубопроводом, з яких вона самопливом поступає в єдину магістраль. Потім, з вузлового пункту збору (де саме і необхідно перевіряти адекватність реального водотоку прогнозованому) вже сумарний потік з невизначеними параметрами перекачується для охолодження на градирні. Врахувавши вищеперелічене, в модель вводяться необхідні для розрахунку дані і визначаються характеристики спільноговодотоку у зазначеній точці.

Похибка моделювання визначалася згідно [3]. Відповідність прогнозованої витрати вторинної води Q_n для охолодження печі дійсному Q_d представимо у вигляді:

$$\text{[redacted]}, \quad (1)$$

де $a_0 = \overline{Q_n} - r_{Q_d Q_n} \sigma_{Q_n} / \sigma_{Q_d} \overline{Q_d}$; $a_1 = r_{Q_d Q_n} \sigma_{Q_n} / \sigma_{Q_d}$.

Тут $\overline{Q_n}, \overline{Q_d}$ – середні значення прогнозованих і дійсних значень витрати води, м³/Г; $r_{Q_d Q_n}$ – коефіцієнт кореляції між ними; σ_{Q_n} , σ_{Q_d} – середньоквадратичні відхилення.

Зазначені величини обчислювалися за формулами:

$$r_{Q_d Q_n} = \frac{\sum_{1}^L (\overline{Q_d} - \overline{\overline{Q_d}})(\overline{Q_n} - \overline{\overline{Q_n}})}{L \sigma_{Q_d} \sigma_{Q_n}}; \quad (2)$$

$$\sigma_{Q_d} = \sqrt{\sum_{1}^L (\overline{Q_d} - \overline{\overline{Q_d}})^2 / L - 1}; \quad (3)$$

$$\sigma_{Q_n} = \sqrt{\sum_{1}^L (\overline{Q_n} - \overline{\overline{Q_n}})^2 / L - 1}, \quad (4)$$

де L – об'єм статистичної вибірки (кількість проведених вимірювань).

Середньоквадратична абсолютна похибка вимірювань визначалася як:

$$\Delta Q_n = t_p \sigma_{Q_n}^*, \quad (5)$$

де t_p – коефіцієнт Стьюдента, що береться з таблиці відповідного розподілу [4] для заданої вірогідності α числа ступенів вільності дій $k=L-1$. У розглянутому випадку вірогідність приймаємо $P=0.99$. Тут $\sigma_{Q_n}^*$ – залишкове середньоквадратичне відхилення, що обчислюється за формулою:

$$\sigma_{Q_n}^* = \sqrt{\sum_1^L (Q_n - \bar{Q}_n)^2 / (L-1)}. \quad (6)$$

У результаті середньоквадратична відносна похибка прогнозу визначалася в такий спосіб:

$$\delta_{Q_n} = |\Delta Q_n| / Q_{n\max} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де $Q_{n\max}$ – граничне значення прогнозованої величини витрати води.

Вихідні дані спостережень і проміжних розрахунків представлені на рис. 1.

Тут об'єм статистичної вибірки склав $L=1536$. У підсумку

середньоквадратична
відносна похибка прогнозу
склала $\delta_{Q_n} = 3,6\%$, що
достатньо
для
розглядуваных задач.
Аналогічні розрахунки було
проведено, також, по
іншому
об'єкту
гідроенергетичної утилізації,
а саме доменним печам № 2-
5
доменного цеху
підприємства
БАТ «Запоріжсталь». Для
останнього, похибка склала
3,8%.

В результаті перевірки математичної моделі системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств підтверджена її адекватність реальним процесам. Викладені дослідження проведені разом зі співробітниками зазначених підприємств, а розроблена модель в цілому отримала схвалення їх керівництвом, що підтверджено відповідними актами. Остання з достатньою точністю дозволяє визначити в динаміці енергетичні характеристики як окремих, так і сумарних вторинних водотоків у будь-якому місці розосередження системи збору. За її допомогою можуть бути удосконалені вже існуючі системи збору або створенні нові більш енергоефективні, там, де вони поки що відсутні.

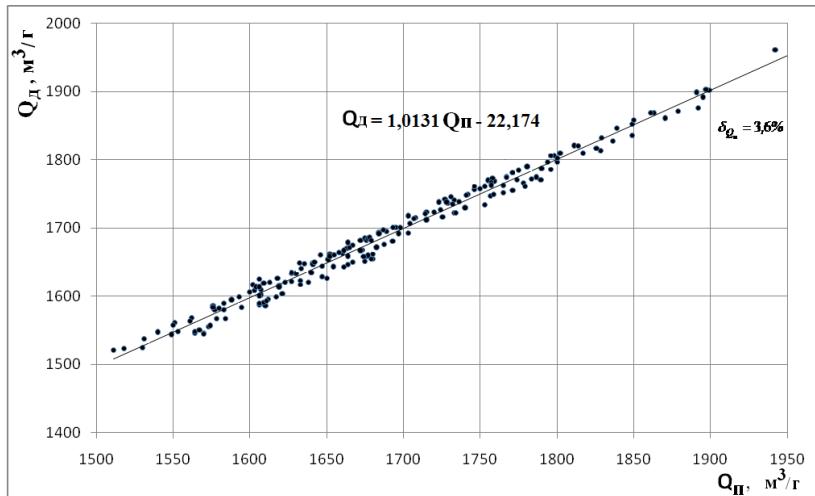


Рис. Відповідність прогнозованої сумарної витрати вторинної води дійсній

Список літератури: 1. Коваленко, В.Л. Алгоритм синтезу оптимальної системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу / В.Л. Коваленко, Ю.Г. Качан // Меліорація та

гідротехнічне будівництво. – Рівне. – № 34. – 2010. – С. 72 – 77. 2. Коваленко, В.Л. К вопросу прогнозирования расходов вторичных водотоков промышленных предприятий / В.Л. Коваленко, Ю.Г. Качан // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 3. – С. 45 – 48. 3. Лемешко, Б.Ю. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим : методические рекомендации / Б.Ю. Лемешко, С.Н. Постовалов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 1999. – 85 с. 4. Зайцев, Е.П. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с индивидуальными заданиями и решениями типовых вариантов: учеб.-метод. пособ. / Зайцев Е.П. – Кременчуг : Изд-во Кременчуг, 2005. – 484 с.

Поступила в редакцию 17.03.2012

УДК 621.331

В. Г. КУЗНЕЦОВ, канд.техн.наук, доц., Днепропетровский университет
железнодорожного транспорта им. ак. В.Лазаряна

К. А. КАЛАШНИКОВ, асп., Днепропетровский университет
железнодорожного транспорта им. ак. В.Лазаряна

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ

Проведено дослідження показників, що визначають величину втрат потужності в тяговій мережі та залежності величини втрат потужності в тяговій мережі від дислокациї і відстані між поїздами на зоні міжпідстанції.

Ключові слова: енергозбереження, втрати потужності, тягова мережа.

Проведено исследование факторов, определяющих величину потерь мощности в тяговой сети, зависимости величины потерь мощности в тяговой сети от дислокации и расстояния между поездами на межподстанционной зоне.

Ключевые слова: энергосбережение, потери мощности, тяговая сеть.

The authors discussed the factors that determine the value of power losses in contact lines and explain the dependences of these losses of distances between trains.

Keywords: energy saving technologies, the value of power losses, contact lines.

Введение

Задача снижения потерь электроэнергии в системах электроснабжения является составной частью проблемы энергосбережения на предприятиях железнодорожного транспорта. Для ее решения необходимо исследовать

Цель статьи

Исследование факторов, определяющих величину потерь мощности в тяговой сети, зависимости величины потерь мощности в тяговой сети от дислокации и расстояния между поездами на межподстанционной зоне (МЗ). факторы, определяющие величину потерь мощности в тяговой сети. В реальных условиях эксплуатации к ним можно отнести: колебания массы поездов, а следовательно, и энергии, потребляемой электроподвижным составом, колебания напряжений на токоприемниках электровозов, изменение метеорологических условий, особенности ведения поездов машинистами, особенности организации движения и, как следствие, изменение числа поездов, одновременно находящихся в зоне питания подстанций, и расстояния между ними (рис. 1).



Рис.1. Взаимодействие факторов, определяющих величину потерь мощности в тяговой сети

Анализ литературы

Для выполнения требований по организации перевозочного процесса и улучшения показателей эксплуатационной работы железных дорог, пропуск поездов необходимо осуществлять как можно быстрее, при этом должны учитываться ограничения по скорости движения, возможности тяговых подстанций и затраты энергии на перемещение поездов по выбранному участку[0].

В общем случае уравнение движения поезда имеет вид [1]:

$$\frac{ds}{dt} = v;$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\xi}{1+\gamma} u_s - w_0 - i s;$$

где u_s – режим работы (позиция контроллера машиниста);

$$u_s = \begin{cases} f_k(v) & \text{– режим тяги;} \\ 0 & \text{– режим выбега;} \\ -b_k(v) & \text{– режим торможения.} \end{cases}$$

V – скорость движения;

t – время;

ξ – размерный коэффициент, представляющий собой ускорение поезда, когда на каждую единицу его массы действует единичная ускоряющая сила;

$f_k(v)$ – удельная касательная сила тяги;

w_0 – основное удельное сопротивление движению поезда;

i – сопротивление от плана и профиля пути;

γ – коэффициент инерции вращающихся масс;

$-b_k(v)$ – удельная тормозная сила.

Значение управляющего параметра должно удовлетворять ограничениям:

– в режиме тяги:

$$0 < u \leq f_{km} v ; \quad (1)$$

где f_{km} — максимальное значение удельной силы тяги, определяемое ограничением тяговой характеристики при скорости движения v ;

— в режиме торможения:

$$-b_{km} \leq u \leq 0; \quad (2)$$

где b_{km} — максимальное значение удельной тормозной силы, которая может быть реализована при скорости движения v .

Следовательно, приходим к задаче оптимизации при заданных условиях:

- профиль пути $i(s)$;
- тип электровоза;
- масса состава;
- тип вагонов и нагрузки от оси на рельс,

найти такое $u(s)$, удовлетворяющее (1), (2), чтобы решение системы **(Ошибка! Источник ссылки не найден.)** $v(s)$ удовлетворяло ограничениям:

$$\underline{v}(s) \leq v(s) \leq \bar{v}(s), \quad (3)$$

где $\underline{v}(s)$ и $\bar{v}(s)$ — допустимые минимальное и максимальное значение скорости движения $v(s)$.

Чтобы задача имела замкнутый характер, необходимо добавить граничные условия:

$$\underline{v}(s)|_{S=S_h} \in V_h; \quad v(s)|_{S=S_k} \in V_k; \quad (4)$$

где V_h и V_k — некоторые интервалы, из которых должны выбираться скорости в начале пути $S = S_h$ и в конце пути $S = S_k$.

Критерием оптимальности является минимальное значение времени движения поезда на отрезке пути S_h, S_k .

Время движения поезда определяется из условия:

$$t = \int_{S_h}^{S_k} \frac{ds}{v(s)}, \quad (5)$$

откуда следует, что $v(s)$ должна быть максимальной при оговоренных ограничениях.

В настоящее время данная задача достаточно полно исследована и имеются программные реализации ее решения [0]. Исследования влияния параметров эксплуатации на величину потерь мощности в тяговой сети с учетом характеристик системы электроснабжения проведены в работах [0-0]. Тяговые расчеты, выполненные для любого железнодорожного участка позволяют получить две зависимости:

- потребляемые токи: $I(S)$, $S \in S_h, S_k$;
- скорость движения поезда: $V(S)$, $S \in S_h, S_k$,

где S – длина МЗ, км;

S_n, S_k - начальная и конечная координата МЗ.

Данные зависимости объективно характеризуют влияние технических данных тягового подвижного состава и параметров пути на характер изменения нагрузки. Однако в указанных работах не проводились исследования зависимости величины потерь мощности в тяговой сети от дислокации поездов и расстояния между поездами на участке.

Основной материал

Проведем исследования зависимости величины потерь мощности в тяговой сети от дислокации поездов и расстояния между поездами на электрифицированной линии Приднепровской ж.д. (). Расчет потерь мощности в тяговой сети проводился для двух МЗ в четном и нечетном направлениях, где имеет место подъем профиля пути, и данные МЗ можно рассматривать как «узкое место» всего направления (лимитирующего пропускную способность участка по условиям электроснабжения).

Исходные данные для расчетов:

- 1) длина МЗ четного направления – 17 км;
- 2) длина МЗ нечетного направления – 18 км;
- 3) место расположения поездов $X = x_1 x_2 \dots x_N$;
- 4) токи, потребляемые поездами $I(S)$, $S \in S_n, S_k$;
- 5) скорости движения поездов $V(S)$, $S \in S_n, S_k$;
- 6) удельное сопротивление контактной сети $R = 0.07$ Ом/км;
- 7) сечение контактного провода – 412 мм^2 ;
- 8) схема питания – двухсторонняя.

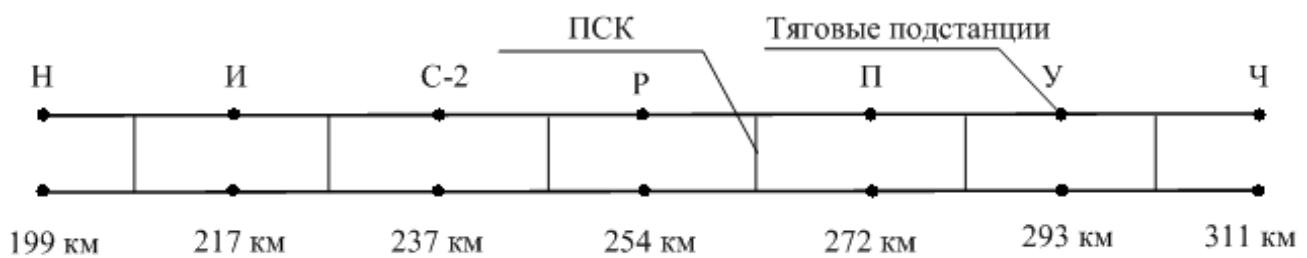


Рис.2. Схема исследуемого электрифицированного участка Приднепровской ж.д.

Потери мощности в контактной сети определялись по формуле:

$$\Delta P = \int_0^{L_0} \Delta U(x) I(x) dx, \quad (6)$$

где $\Delta U(x) = \begin{cases} \Delta U_A(x) & \text{при } 0 \leq x \leq x_m \\ \Delta U_B(x) & \text{при } x_m \leq x \leq L_0. \end{cases}$

Результаты расчетов представлены в табл. 1, таблице 2.

Таблица 1. Потери мощности в тяговой сети на МЗ четного направления

Расстояние между поездами (км)	Дислокация поездов (км)		Мгновенное значение тока поезда (А)		Мгновенные суммарные потери мощности в тяговой сети при данном расположении поездов (кВт)
	1-й поезд	2-й поезд	1-й поезд	2-й поезд	
3	0,1	3,1	964	1744	1215
	2,1	5,1	1751	1657	3382
	4,1	7,1	1776	1746	4136
	6,1	9,1	1708	1645	4112
	8,1	11,1	1516	0	918
5	0,1	5,1	964	1657	1627
	2,1	7,1	1751	1746	2777
	4,1	9,1	1776	1645	3232
	6,1	11,1	1708	0	1704
7	0,1	7,1	964	1746	1604
	2,1	9,1	1751	1645	1173
	4,1	11,1	1776	0	1614

Таблица 2.Потери мощности в тяговой сети на МЗ нечетного направления

Расстояние между поездами (км)	Дислокация поездов (км)		Мгновенное значение тока поезда (А)		Мгновенные суммарные потери мощности в тяговой сети при данном расположении поездов (кВт)
	1-й поезд	2-й поезд	1-й поезд	2-й поезд	
3	0,1	3,1	39	513	1310
	2,1	5,1	423	1768	3598
	4,1	7,1	1769	1724	9694
	6,1	9,1	1565	1921	11896
	8,1	11,1	1880	1775	14175
	10,1	13,1	1635	1524	9298
	12,1	15,1	1706	39	2909
5	0,1	5,1	39	1768	2980
	2,1	7,1	423	1724	4337
	4,1	9,1	1769	1921	10038
	6,1	11,1	1565	1775	8201
	8,1	13,1	1880	1524	9844
	10,1	15,1	1635	39	3505
	12,1	17,1	1706	39	2856
7	0,1	7,1	39	1724	3768
	2,1	9,1	423	1921	5439
	4,1	11,1	1769	1775	7030
	6,1	13,1	1565	1524	5896
	8,1	15,1	1880	39	4776
	10,1	17,1	1635	39	3456

По приведенным данным минимальные потери для двух поездов на МЗ четного направления составляют 918 кВт, а максимальные 4136 кВт, на МЗ нечетного направления минимальные потери для двух поездов 1310 кВт, максимальные 14175 кВт. Вариация потерь мощности в зависимости от дислокации и расстояния между поездами достигает – 3,5 раза на МЗ четного направления и почти 10 раз на МЗ нечетного направления.

Выводы

В ходе проведенных исследований установлено, что одно и то же количество поездов может быть пропущено по участку с различными потерями мощности в тяговой сети в зависимости от дислокации и расстояния между поездами на МЗ, что приводит к задаче определения оптимальных расстояний между поездами по критерию минимума суммарных потерь мощности в контактной сети. Вариация потерь мощности в зависимости от дислокации и расстояния между поездами достигает – 3,5 раза на МЗ четного направления и почти 10 раз на МЗ нечетного направления.

Список литературы: 1.Левин, Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст] / Д. Ю. Левин. - М. : Транспорт, 2008. – 625 с. 2.Гетьман Г.К. Теория электрической тяги [Текст] / Г.К. Гетьман. – Д: Маковецкий, 2011. – 362 с. 3.Бобирь, Д. В. Усовершенствование режимов ведения грузового поезда с электрической тягой [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07 / Бобирь Дмитрий Валерьевич; [ДНУЖТ].-Д.:2000.-23 с.4 Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г.Марквардт. – М:Транспорт, 1982.–528 с.5.Мирошниченко, Р. И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р. И. Мирошниченко - М : Транспорт, 1982. – 207 с.6. Проектирование систем энергоснабжения электрических железных дорог / [Бесков Б.А., Геронимус Б.Е., Давыдов В.Н. и др.]; под ред. Л.М. Перцовского. - М.: Трансжелдориздат, 1963. – 471 с.7. Эксплуатационные требования к параметрам устройств энергоснабжения железных дорог, электрифицированных на постоянном токе [Текст] : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ – Москва : Трансжелдориздат, 1959. – 234 с.8.Гаранин, М. А. Совершенствование расчета наличной пропускной способности железных дорог постоянного тока по условиям электроснабжения [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07 / М. А. Гаранин. – Самара: 2004. – 25 с.

Поступила в редакцию 17.03.2012

УДК 629.735.083.02.06(045)

Ю.М. ТЕРЕЩЕНКО, докт.техн.наук, проф.,НАУ, Київ,
I.O. ЛАСТИВКА, канд.техн.наук,зав.каф., НАУ, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ОБТІКАННЯМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФУЗОРНИХ КОМПРЕСОРНИХ РЕШІТОК

Проведено дослідження ефективності впливу активного управління обтіканням дифузорних компресорних решіток на кут відставання потоку та рівень втрат повного тиску.

Ключові слова: газодинамічне управління обтіканням, дифузорні решітки.

Проведены исследования эффективности влияния активного управления обтеканием диффузорных компрессорных решеток на угол отставания потока и уровень потерь полного давления.

Ключевые слова: газодинамическое управление обтеканием, диффузорные решетки

Researches of efficiency of active influence on a flow diffuser compressor lattices and on a corner of a stream backlog and total pressure level losses are conducted.

Key words: gas-dynamic influence on a flow, diffuser compressor lattices.

1. Вступ

Необхідність покращення характеристик компресорних решіток газотурбінних двигунів викликана тенденціями розвитку авіаційного двигунобудування. Вирішення задач щодо підвищення аеродинамічної навантаженості лопаткових вінців, розширення діапазону беззривного обтікання решіток, зниження рівня втрат в проточній частині компресора і ін. [1,2,3] спрямовано на підвищення ефективності та газодинамічної стійкості авіаційних ГТД. Наявність за вихідними кромками лопаток статора аеродинамічних слідів [4,5,6] призводить до нерівномірності поля швидкостей і тисків та зривного обтікання лопаткових вінців. Зрив потоку з поверхні лопаток відбувається за рахунок того, що тиск в примежовому шарі на спинці лопатки менший, ніж в ядрі потоку в міжлопатковому каналі [7,8]. Уникнути зриву потоку або змістити його за межу робочих режимів можливо шляхом газодинамічного впливу на примежовий шар. Газодинамічна дія на течію здійснюється шляхом видування повітря через щілини профілів у напрямі осьового потоку по дотичній до обтічної поверхні. Як показали результати цілого ряду досліджень [6,7,8,2], струмінь повітря, що витікає з щілини на поверхні лопаток, після невеликої початкової ділянки I (рис. 1), що характеризується ядром постійних швидкостей і тисків, утворює спочатку ділянку II (струменевий примежовий шар зливається з супутнім потоком), а потім основну ділянку III, де пристінний примежовий шар з'єднується зі струменевим.

2. Постановка задачі

Задача дослідження полягала у визначенні ефективності впливу активного управління обтіканням профілів дифузорних решіток на їх характеристики – на кут відставання потоку Δ та рівень втрат повного тиску ξ .

3. Проведення дослідження і аналіз результатів

Схема дифузорної компресорної решітки та її основні геометричні параметри зображені на рис.2. Вибір місця розміщення щілини висотою $\bar{h}_u = h/b$ на поверхні лопаток на відстані b_u від передньої кромки по хорді b ґрунтувався на рекомендаціях і результатах розрахунків точки відриву потоку згідно з методами, розвиненими у роботах [9,10,7,8]. Напрям вектора швидкості струменя повітря, що видувається через щілину \vec{W}_b , повинен бути паралельним

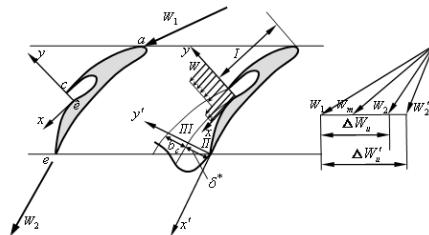


Рис. 1. Розрахункова схема течії в дифузорній решітці з газодинамічним управлінням обтіканням

вектору середньої швидкості $\vec{W}_m = 0,5 \vec{W}_1 + \vec{W}_2$, (визначається за теоремою Жуковського для підіймальної сили профіля в решітці). Параметри основного повітряного потоку забезпечували значення чисел Рейнольдса у межах $Re = 3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^6$, що дозволило досліджувати характеристики решіток як в області автомодельності по Re , так і в області докритичних і критичних режимів (по Re). Зміна Re в процесі експериментальних досліджень здійснювалась підігрівом основного повітряного потоку в діапазоні температур 275-420К [11, 12].

Експериментальні дослідження характеристик компресорних решіток з видуванням газу в примежовий шар проводились в аеродинамічній трубі відкритого типу [11, 2]. Найбільш можливі похибки вимірювань складали: для витрат повітря 2,4–3,0%; для кутів відхилення потоку решіткою 1–1,25%; для коефіцієнта втрат повного тиску 1,5–3,0%.

Всі узагальнення аеродинамічних характеристик решіток з управлінням обтіканням проводились для оптимальних кутів атаки вихідних решіток (без управління обтіканням). В дослідженнях прийнято принцип оптимізації кутів атаки по максимальній якості профілів у решітці [13]

$$K'_{opt} = \Delta\bar{\beta}/\bar{\xi}_{max},$$

де $\Delta\bar{\beta} = \Delta\beta/\Delta\beta_{hom}$ і $\bar{\xi} = \xi/\xi_{hom}$ – відношення поточних значень кута відхилення потоку $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$ і коефіцієнта втрат повного тиску $\xi = p_1^* - p_2^* / 0,5\rho W_m^2$ до значень цих параметрів на номінальному режимі (при максимальному значенні ККД решіток), p_1^* , p_2^* – осереднені по кроху значення повного тиску перед решіткою і за нею; ρ – густота газу; W_m – середня геометрична швидкість. Порівняння даних розрахунків решіток за співвідношенням $K_{opt} = c_y/c_{x_{max}}$ [14] з розрахунками за формулою $K'_{opt} = \Delta\bar{\beta}/\bar{\xi}_{max}$ показує коректність такого припущення (c_y і c_x – коефіцієнти підіймальної сили і опору профілю, відповідно).

Фактичний коефіцієнт імпульсу видування в примежовий шар c_μ , який визначається як відношення кількості руху секундної маси газу (повітря), що виходить із щілини, до кількості руху секундної маси газу, що проходить через міжлопатковий канал, визначається за формулою:

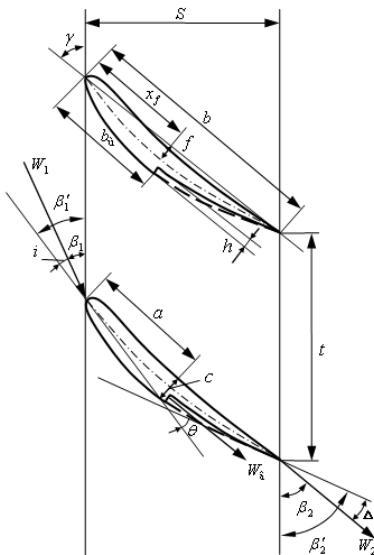


Рис. 2. Схема дифузорної решітки з управлінням обтіканням

$$c_\mu = K \frac{\rho_e W_e^2 h_u}{\rho_1 W_1^2 t \sin \beta_1} = K \frac{\rho_e W_e^2 \bar{h}_u}{\rho_m W_m^2 t \sin \beta_m} = K \frac{\rho_e W_e^2}{\rho_m W_m^2} \bar{h}_u \left(\frac{b}{t} \right) \cdot \frac{1}{\sin \gamma},$$

де ρ_a і W_a – густини і швидкості газу на виході із щілини; ρ_m – умовна середня густина потоку в решітці; h_u – висота щілини; $\bar{h}_u = h_u / b$ – відносна висота щілини; K – коефіцієнт пропорційності (враховує непаралельність \vec{W}_a і \vec{W}_m); b – хорда профілю; γ – кут установлення профілю.

В процесі експериментальних досліджень було розглянуто характеристики 18 решіток: 12 решіток було складено з лопаток, середня лінія профілів яких була зігнута по дузі кола, а 6 решіток мали лопатки, середня лінія профілів яких згидалася по гіперболі.

На рис. 3 – 7 приведені графічні залежності

$$\Delta = f_1 \left(\frac{b}{t}; c_\mu; \lambda_{W_1} \right); \xi = f_2 \left(\frac{b}{t}; c_\mu; \lambda_{W_1} \right),$$

отримані в результаті обробки даних експериментальних досліджень.

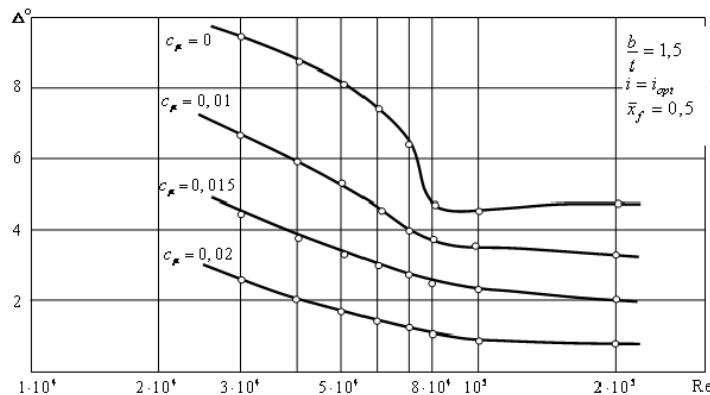


Рис. 3. Вплив зміни Re на кут відставання потоку за дифузорною решіткою при $\theta = 20^\circ$

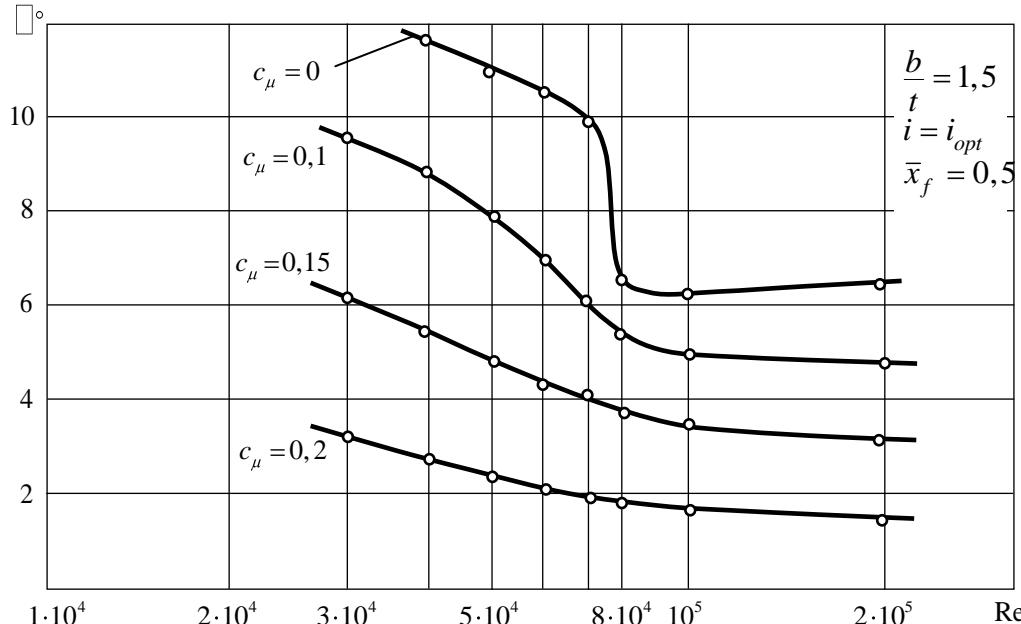


Рис. 4. Вплив зміни Re на кут відставання потоку за дифузорною решіткою при $\theta = 30^\circ$

Результатами досліджень показано, що при обтіканні решіток профілів кут відставання зростає при збільшенні кута згину і кута установлення профілів. Кут відставання потоку $\square = \beta'_2 - \beta_2$ зменшується при збільшенні густоти дифузорних решіток. Окрім цих величин на кут відставання певний вплив чинять кінематичні параметри і зміна критеріїв M і Re .

У якості першого наближення при визначенні кутів відставання потоку в дифузорних решітках з управлінням обтіканням можуть бути рекомендовані наступні напівемпіричні співвідношення:

$$\text{при } \theta \leq 30^\circ \quad \square = \frac{g\sqrt{t/b}}{1-g\sqrt{t/b}} \left(\beta - 1 \right) \left(1 - 2,72 \cdot 10^m \cdot c_\mu \frac{1}{\cos^2 \theta} \right);$$

$$\text{при } \theta > 30^\circ \quad \square = \frac{g\sqrt{t/b}}{1-g\sqrt{t/b}} \left(\beta - 1 \right) \left(1 - 2,53 \cdot 10^m \cdot c_\mu \frac{1}{\cos^2 \theta} \right),$$

де $g = 0,23 \cdot 2a/b^2 + 0,1 \cdot \beta_2/50$; $m = 0,8-1,2$.

В решітках, середня лінія яких була зігнута по гіперболі, інтенсивність управління обтіканням, при якій забезпечувалося $\square = 0^\circ$, була на 10–15 % (по c_μ) меншою, ніж в решітках з тією ж густотою, але складених із профілів з середньою лінією у формі дуги кола. Це може бути пояснено кращим змішуванням потоків в примежових шарах за щілинами для видування на профілях з гіперболічною середньою лінією.

На рис. 5–7 представлені результати досліджень впливу управління обтіканням на коефіцієнт втрат повного тиску в дифузорних решітках. На відміну від розгляду впливу c_μ на кут відставання потоку \square , коли кут атаки приймався оптимальним, при дослідженні впливу зміни c_μ на ξ розглядався досить широкий діапазон зміни кутів атаки (практично від кута i_{min} , що відповідає коефіцієнту втрати повного тиску в решітці ξ_{min} , до i_{max} , що відповідає настанню зривних режимів течії на зовнішній поверхні лопаток).

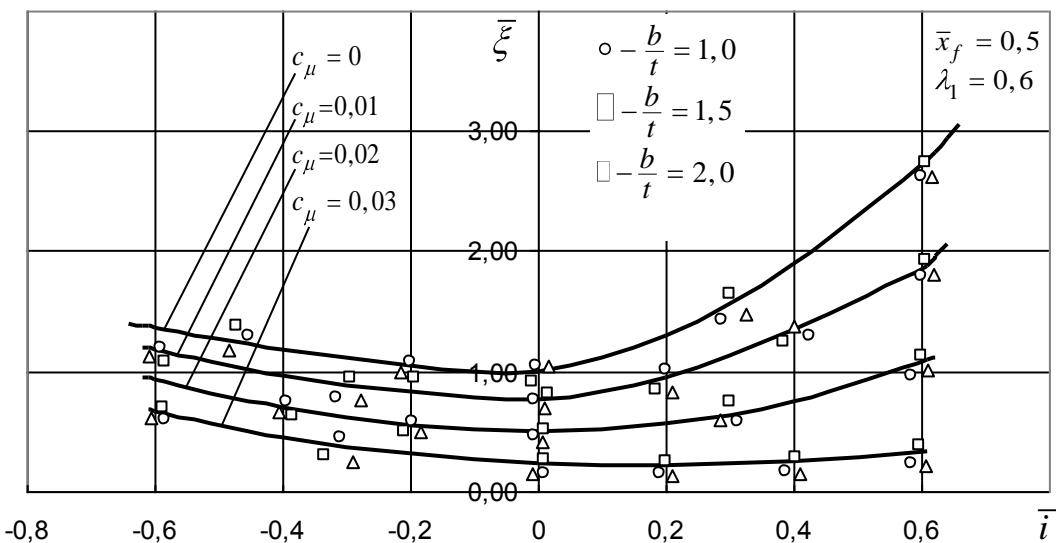


Рис. 5. Залежність рівня втрат в дифузорних решітках від інтенсивності управління обтіканням при $\theta = 20^\circ$

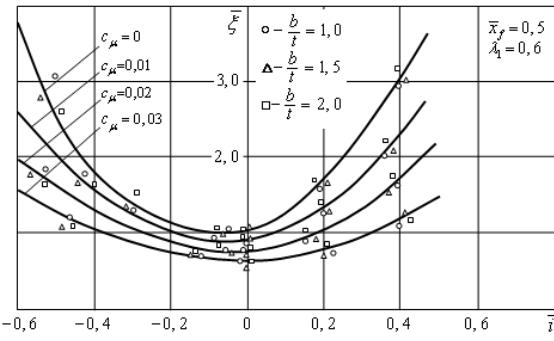


Рис. 6. Залежність рівня втрат в дифузорних решітках від інтенсивності управління обтіканням при $\theta = 40^\circ$

Вказана обставина дозволила певним чином систематизувати отримані результати і представити їх у вигляді узагальненої залежності:

$$\bar{\xi} = \frac{\xi}{\xi_{\max}} = f\left(\bar{i}, \theta, c_\mu, \frac{b}{t}\right).$$

З метою отримання певних узагальнень, що дозволяють уточнити дані теоретичних досліджень, оброблені відповідним чином експериментальні дані представлялись у вигляді залежностей (рис. 7):

$$\bar{\xi} = f(\bar{i}, c_\mu), \text{ при } \theta = \text{const}, \frac{b}{t} = \text{const}.$$

Величина відносного кута атаки \bar{i} визначалася з умови:

$$\bar{i} = \frac{i - i^*}{\beta^*},$$

де i – поточне значення кута атаки; i^* – кут атаки, що відповідає режиму обтікання решітки з максимальним ККД; $\beta^* = \beta_2^* - \beta_1^*$ – кут повороту потоку на номінальному режимі; β_1^* і β_2^* – кут входу потоку в решітку і кут виходу потоку з решітки на номінальному режимі, відповідно. Величина i^* визначалася за наближеною формулою, запропонованою А.П. Комаровим [13]:

$$i^* = 4,5 - 0,3\theta \frac{t}{b} \left[1,81 - 2\bar{x}_f^2 \right].$$

4. Висновки

1. Активна дія на потік в дифузорних решітках призводить до зміни значень кута відставання потоку: при оптимальному куту атаки кут відставання зменшується при збільшенні густоти дифузорних решіток; на зміну кута відставання певний вплив чинять, значання чисел Рейнольдса, а також кут згину профілів.

2. На нерозрахункових режимах обтікання дифузорних решіток при великих кутах атаки ефект управління обтіканням найістотніше позначається на характері зміни залежностей $\bar{\xi} = f(i)$. Помітний вплив на ефективність управління обтіканням чинить кут згину середньої лінії профілів θ : чим більший кут згину

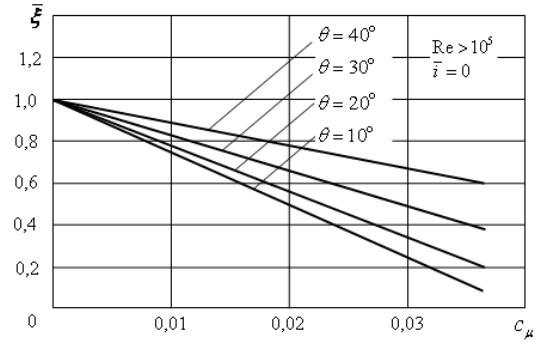


Рис. 7. Узагальнені залежності відносного рівня втрат в дифузорних решітках від інтенсивності управління обтіканням

результати і представити їх у вигляді узагальненої залежності:

$$\bar{\xi} = \frac{\xi}{\xi_{\max}} = f\left(\bar{i}, \theta, c_\mu, \frac{b}{t}\right).$$

З метою отримання певних узагальнень, що дозволяють уточнити дані теоретичних досліджень, оброблені відповідним чином експериментальні дані представлялись у вигляді залежностей (рис. 7):

$$\bar{\xi} = f(\bar{i}, c_\mu), \text{ при } \theta = \text{const}, \frac{b}{t} = \text{const}.$$

Величина відносного кута атаки \bar{i} визначалася з умови:

$$\bar{i} = \frac{i - i^*}{\beta^*},$$

де i – поточне значення кута атаки; i^* – кут атаки, що відповідає режиму обтікання решітки з максимальним ККД; $\beta^* = \beta_2^* - \beta_1^*$ – кут повороту потоку на номінальному режимі; β_1^* і β_2^* – кут входу потоку в решітку і кут виходу потоку з решітки на номінальному режимі, відповідно. Величина i^* визначалася за наближеною формулою, запропонованою А.П. Комаровим [13]:

$$i^* = 4,5 - 0,3\theta \frac{t}{b} \left[1,81 - 2\bar{x}_f^2 \right].$$

4. Висновки

1. Активна дія на потік в дифузорних решітках призводить до зміни значень кута відставання потоку: при оптимальному куту атаки кут відставання зменшується при збільшенні густоти дифузорних решіток; на зміну кута відставання певний вплив чинять, значання чисел Рейнольдса, а також кут згину профілів.

2. На нерозрахункових режимах обтікання дифузорних решіток при великих кутах атаки ефект управління обтіканням найістотніше позначається на характері зміни залежностей $\bar{\xi} = f(i)$. Помітний вплив на ефективність управління обтіканням чинить кут згину середньої лінії профілів θ : чим більший кут згину

середньої лінії, тим менш ефективно впливає управління обтіканням на рівень втрат при нерозрахунковому режимі обтікання решіток.

Список літератури: 1.*Lieblein S. Theoretical Loss Relations for Low-Speed Two-Dimensional-Cascade Flow / S. Lieblein, W. Randebusch.* – NASA TN 3662, 1956. 2.*Терещенко Ю.М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю.М. Терещенко.* – М.: Машиностроение, 1987. – 168с. 3.*Терещенко Ю.М. Аэродинамика компрессоров с управлением отрывом потока / Ю.М. Терещенко, М.М. Митрахович.* – К.: Институт математики НАН Украины, 1996. – 252с. 4.*Гинзбург С.И. Исследование неравномерного по окружности течения перед осевой компрессорной ступенью / С.И. Гинзбург, А.А. Сусленников // Сб. «Лопаточные машины и струйные аппараты».* – М.: Машиностроение, 1971. 5.*Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин / Г.С. Самойлович.* – М.: «Наука», 1969. – 444 с. 6.*Гиневский А.С. Теория турбулентных струй и следов / А.С. Гиневский.* – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с. 7.*Чжен П. Управление отрывом потока / П. Чжен.* – М.: Мир, 1979. – 365с. 8.*Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг.* – М.: Наука, 1969. – 742 с. 9.*Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович.* – М.: Физматгиз, 1976. – 888 с. 10.*Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин / Г.Ю. Степанов.* – М.: Физматгиз, 1962. 11.*Терещенко Ю.М. Экспериментальное исследование плоских компрессорных решеток с управлением пограничным слоем / Ю.М. Терещенко, А.Н. Говоров // Сб. материалов НТК, КВВАИУ, 1968.* 12.*Терещенко Ю.М. Исследование управления пограничным слоем в компрессорных решетках / Ю.М. Терещенко // Сб. Авиационные двигатели, КВВАИУ, 1969.* 13.*Комаров А.П. Исследование плоских компрессорных решеток / А.П. Комаров // Сб. «Лопаточные машины и струйные аппараты».* – М.: Машиностроение, 1967. – № 2. 14.*Бекнев В.С. Оптимальное профилирование решеток дозвуковых компрессоров, вентиляторов и насосов / В.С. Бекнев // Известия высшей школы.* – М.: Машиностроение, 1963. – № 9.

Поступила в редакцию 17.03.2012

УДК 621.311

A. V. ПРИХОДЬКО, директор ООО «Южкабель - сервис», Харьков

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (ТЭП) ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Розглянуті методичні похибки, які виникають при автоматичному визначенні ТЕП в АСУ ТП енергоблоків ТЕС, а також засоби зменшення їх впливу на точність розрахунку ТЕП

Ключові слова: АСУ, енергоблок, електростанція

Рассмотрены методические погрешности, возникающие при автоматическом определении ТЭП в АСУ ТП энергоблоков ТЭС, а также способы уменьшения их влияния на точность расчета ТЭП

Ключевые слова: АСУ, энергоблок, электростанция

Methodical errors arising up at automatic determination of technical and economic indexes in automated control system of management the technological processes of power units of the thermal electric stations, and also methods of reduction of their influence, are considered on exactness of calculation of technical and economic indexes

Keywords: ACU, power unit, power-station.

1. Введение

Одним из наиболее общих критериев при разработке системы определения ТЭП является точность получаемых результатов, включая в погрешность всякого рода отклонения от нормального функционирования системы (например, отказ в поступлении информации по одному из измерительных каналов). Структура погрешности определения показателя представляет собой комбинацию погрешностей от различных источников. Эти погрешности могут быть разделены на инструментальные и методические. Инструментальные погрешности определяются используемыми в системе аппаратурными средствами (измерительными устройствами, преобразователями, вычислительной машиной), методические - принятым алгоритмом и его характеристиками.

Особенности реализации расчета на цифровой вычислительной машине, повышение требований к точности расчета, выполнение расчетов в темпе производства для решения задач оперативного управления – все это привело к необходимости рассмотрения как новых источников методических погрешностей (например, динамическая погрешность), так и тех, которым ранее не придавали должного внимания (например, погрешность расчета по усредненным параметрам).

Принятие недостаточно обоснованных алгоритмов на первом этапе внедрения относительно небольших расчетных задач компенсировалось избыточными возможностями вычислительных машин. В настоящее время при создании больших систем (например, АСУ мощными энергоблоками ТЭС) это приводит к их значительному усложнению и удорожанию.

Отмеченные обстоятельства обусловили необходимость постановки и проведения специальных исследований по рассматриваемой проблеме, результаты наиболее значительных из которых изложены в работах [1-4]. Предметом исследований в них явились методические погрешности, обусловленные алгоритмом расчета показателей. При исследовании каждого источника методической погрешности была поставлена задача получения результатов в таком виде, который позволил бы осуществить как анализ алгоритма - оценку возникающей погрешности, так и его синтез - определение характеристик алгоритма по заданной величине погрешности.

Погрешность дискретного усреднения технологических параметров

Погрешность дискретного усреднения представляет собой разность выражений:

$$\Delta \bar{X}_M = \frac{1}{T_0} \int_0^{t_{n+1}} x(t) dt - \frac{t_0}{T_0} \sum_{i=1}^n x(t_i). \quad (1)$$

Для определения среднеквадратичного значения этой погрешности необходимо располагать статистическими характеристиками случайного процесса изменения во времени усредняемого технологического параметра [3].

В результате выполненных исследований для среднеквадратичной погрешности дискретного усреднения получена следующая формула:

$$\sigma_{\Delta \bar{X}_b} = t_0 \sqrt{\sum \sigma_{x_j} C_j^4 / \gamma_j^2}, \quad (2)$$

где $C_j = K_1 + K_2 / (K_3 + \sqrt{T_0(\gamma_j)})$; $K_1 = 0,0715$; $K_2 = 1,5$; $K_3 = 1,325$ - постоянные коэффициенты; σ_x и γ_j - параметры автокорреляционной функции случайного процесса, аппроксимированной суммой экспонент

$$R_x(t) = \sum_j^m \sigma_{x_j}^2 e^{-|t/\gamma_j|}. \quad (3)$$

Формула (3) удобна тем, что может быть разрешена относительно периода квантования t_0 и, следовательно, позволяет его определить по заданной погрешности. Необходимость в этом возникает при разработке системы.

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты расчета периода квантования ряда технологических параметров энергоблока 200 МВт с барабанным парогенератором. При выполнении этого расчета методическая погрешность $\sigma_{\Delta \bar{X}_M}$ была принята 0,03 %.

Таблица 1. Квантование технологических параметров энергоблока 200 МВт

Технологический параметр	Аппроксимирующее выражение корреляционной функции	Период расчета			
		5 мин	15 мин	1 ч	8 ч
Периоды квантования					
Температура пара	$R_{t_n} = 8e^{- t/20 }$	96	120	225	8
Расход пара	$R_{D_n} = 27,6e^{- t/16 } + 47,6e^{-2 t/16 }$	27	33	61	205
Расход питательной воды	$R_{D_{n.e.}} = -50e^{- t/10 } + 100e^{-2 t/10 }$	11	14	30	106
Активная мощность генератора	$R_{N_e} = 2,7e^{- t/9 } + 7,5e^{-2 t/9 }$	17	24	58	168

Погрешность расчета вторичных показателей по средним значениям параметров

Реализация расчетов большинства вторичных показателей, являющихся средними значениями функций технологических параметров, связана с необходимостью выполнения большого объема вычислительных операций, так как количество измерений n технологических параметров за период расчета достаточно велико.

При вычислении показателей по усредненным значениям технологических параметров с целью сокращения объема вычислений возникает погрешность, обусловленная нелинейностью расчетных формул. Эта погрешность определяется разностью

$$\Delta f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i \dots) - f\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i\right), \quad (4)$$

где x_i, y_i - текущие значения параметров.

Разность по формуле (4) зависит от вида нелинейности расчетной формулы показателя, а также диапазона и характера изменения технологических параметров. В таблице 2 дана оценка погрешности определения показателей энергоблока по средним значениям параметров. Приведены наиболее характерные виды нелинейных формул показателей энергоблока.

Определение среднеквадратичной оценки разности (4) связано с нелинейными преобразованиями случайных величин и представляет собой трудноразрешимую задачу. По этой причине исследование было ограничено оценкой верхнего значения погрешности в заданном диапазоне изменения параметров: $0 \leq a_i < x_i \leq b; 0 < c \leq y_i \leq d$, где a, b, c, d - граничные значения параметров. Формулы для оценки погрешностей приведены в таблице 2.

Динамическая погрешность

Возможности вычислительных машин позволяют сократить до минимума период расчета показателей и в пределе ставить задачу получения текущих значений показателей. Использование при этом обычно применяемых расчетных формул выдвинуло проблему динамической погрешности, искажающей результаты расчета. Компенсация динамической погрешности принципиально может быть осуществлена двумя способами — усреднением результатов расчета показателей и использованием при расчете динамической модели объекта.

Таблица 2. Формулы для оценки погрешностей

Вид нелинейности	Примеры расчетной формулы показателя	Верхняя оценка погрешности
$f = \frac{1}{x}$	Коэффициент избытка воздуха $\alpha = \frac{21}{(21 - O_2)}$	$(1 - \sqrt{a/b})^2;$ $a \leq x \leq b$
$i = x^{1/2}$	Расход среды, измеренный дроссельным расходомером, $D = k \sqrt{\Delta P}$	$\frac{1 - \sqrt{a/b}}{4(1 + \sqrt{a/b})^2};$ $a \leq x \leq b$
$f = xy$	Количество выработанного тепла $Q = Di$	$\frac{(1 - c/a)(1 - a/b)}{4};$ $a \leq x \leq b; c \leq y \leq d$
$f = \frac{x}{y}$	Внутренний к.п.д. турбины $\eta_{0i} = \frac{H_i}{H_0}$	$\frac{1 - \sqrt{c/d}}{1 + \sqrt{c/d}}(1 - ac/bd);$ $a \leq x \leq b; c \leq y \leq d$

Первый способ является наиболее простым. Однако при его использовании ценность расчета для оперативного управления может быть значительно снижена. Компенсация погрешности при помощи динамической модели объекта

представляет собой трудную задачу ввиду сложности модели теплоэнергетического объекта. При совместном применении указанных выше способов существенно облегчается решение задачи, так как представляется возможность использования упрощенной модели. Последняя в свою очередь позволяет резко сократить период расчета, потому что он в этом случае определяется только из условия различия модели и реального объекта. Такой подход к компенсации динамической погрешности может быть проиллюстрирован на примере расчета КПД барабанного парогенератора по прямому балансу тепла. Баланс тепла, определяемый в темпе технологического процесса, представляет значительный интерес в качестве критерия при оптимизации процесса горения. Динамические свойства энергоблока в нормальном режиме эксплуатации определяются парогенератором, так как инерционность последнего во много раз превышает инерционность турбогенератора. Поэтому компенсация динамической погрешности расчета КПД парогенератора позволяет одновременно компенсировать ее для КПД блока в целом.

В соответствии с [4] при расчете используется динамическая модель, полученная из условия представления барабанного парогенератора в виде сосредоточенной емкости, при этом расчет КПД за оперативный период $\dot{Q}_0 = t_2 - t_1$ производится по формуле

$$\eta_n = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_n dt + A \Delta P_n}{\int_{t_1}^{t_2} Q_p^H B_m dt}, \quad (5)$$

где Q_n — теплопроизводительность парогенератора; A — коэффициент, зависящий от постоянной времени пароводяного тракта; B_m — расход топлива; Q_p^H — калорийность топлива; ΔP_n — приращение давления пара за период расчета.

Погрешность использования априорной информации

Погрешность, возникающая при использовании априорной информации вместо рабочей в процессе расчета ТЭП, зависит от статистических свойств рабочей информации (измеряемых параметров) и периода ее усреднения.

Для случаев использования в качестве априорной информации математического ожидания параметра или его среднего значения за неполный период расчета средние квадраты погрешности соответственно определяются следующими выражениями:

$$\sigma_{\Delta \bar{x}_1}^2 = M \left\{ \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (x(t) - m_x) dt \right]^2 \right\}; \quad (6)$$

$$\sigma_{\Delta \bar{x}_2}^2 = M \left\{ \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) dt - \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} x(t) dt \right]^2 \right\}, \quad (7)$$

где t_x — математическое ожидание параметра; T_1 — время поступления достоверной информации о текущем значении параметра ($T_1 < T_0$)

На рис. 3 построено семейство кривых для нормированного значения погрешности при использовании среднего значения параметра за неполный период расчета. Здесь же (пунктиром) показана кривая для погрешности при использовании математического ожидания параметра. Эта кривая разделяет всю область на две части. В верхней, части использование информации за неполный период расчета является нецелесообразным, так как возникающая при этом погрешность превышает погрешность оценки среднего значения параметра по его математическому ожиданию.

При наличии корреляционной связи между параметрами возникает возможность замены одного параметра другим. Среднеквадратичная погрешность в результате такой замены определяется выражением

$$\sigma_{\Delta \bar{X}} = M \left\{ \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) dt - \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} y(t) dt \right]^2 \right\}, \quad (8)$$

где $x(t)$ и $y(t)$ — текущие значения коррелированных параметров.

Значительный практический интерес представляет использование в качестве априорной информации корреляционной связи между одноименными параметрами параллельных технологических потоков (например, в парогенераторе). Оценка погрешности в этом случае может быть получена без непосредственного определения взаимокорреляционной функции. Следует отметить, что выбор вида априорной информации и решение вопроса о возможности ее использования в конечном счете зависит от дополнительной погрешности показателя, при расчете которого используется информация.

Выводы

Определение и анализ ТЭП энергооборудования является основой для оценки экономичности энергопроизводства ТЭС. Чем выше достоверность и точность определения ТЭП, тем точнее производится объективный анализ экономичности эксплуатации ТЭС. Поэтому компенсация негативного влияния методических погрешностей при автоматическом определении ТЭП повышает точность расчета этих важных показателей и непосредственно влияет на оценку эффективности эксплуатации ТЭС.

Список литературы: 1. Дуэль, М. А. Автоматизированные системы управления энергоблоками тепловых и атомных электростанций [Текст] / М. А. Дуэль. – Х.: ЧП «КиК», 2006. – 420 с. 2. Плетнев, Г. П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций [Текст] / Г. П. Плетнев. – М.: Изд – во МЭИ, 1995. – 352 с. 3. Зак, И. Д. Методы вычисления технико – экономических показателей [Текст] / И. Д. Зак, Я. Г. Хийт, А. Е. Шульман // Вопросы промышленной кибернетики. – М.: ЦНИИКА, 1969, вып. 21. – С. 273 – 288. 4. Дуэль, Т. Л. Компенсация динамической погрешности при оперативном определении показателей энергооборудования [Текст] / Т. Л. Дуэль. – Одесса: ОНТУ, 2001. – Вып. 3(15). – С. 49 – 53.

Поступила в редакцию 17.03.2012

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 537.331.33

І.Ф. ЧЕРВОНИЙ, докт. техн. наук, проф., зав. каф., ЗГІА, Запорожье,
Е.Я. ШВЕЦ, канд. техн. наук, проф., прор., ЗГІА, Запорожье,
Ю.В. ГОЛОВКО, канд. техн. наук, доц., прор., ЗГІА, Запорожье,
С.Г. ЕГОРОВ, канд. техн. наук, доц., прор., ЗГІА, Запорожье

ТУННЕЛЬНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ КРЕМНИЯ, ГЕРМАНИЯ

Запропоновано механізм «тунельного» переходу густини при прискореній кристалізації кремнію та германію, що враховує кристалохімічні аспекти кристалізації атомарних напівпроводників.

Ключові слова: кремній, германій, структура, густина, механізм кристалізації

Предложен механизм «туннельного» перехода плотности при ускоренной кристаллизации кремния и германия, учитывающий кристаллохимические аспекты кристаллизации атомарных полупроводников.

Ключевые слова: кремний, германий, структура, плотность, механизм кристаллизации

The mechanism of "tunnel" transition of density is offered at the accelerated crystallization of silicon and germanium, taking into account crystal-chemical aspects of crystallization of atomic semiconductors.

Keywords: silicon, germanium, structure, density, crystallization mechanism

1 Введение

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к областям материаловедения и технологии полупроводниковых материалов, к разделу высокотемпературной кристаллизации элементарных полупроводников (например, кремния, германия) из расплава.

Повышение производительности процесса выращивания монокристаллов кремния, предназначенных для микроэлектроники и солнечной энергетики, является одной из актуальных задач их производства.

2 Кристаллохимические аспекты фазового перехода жидкость – твердое тело в кремнии и германии

Принято считать, что при выращивании кристаллов одноатомных веществ лимитирующие факторы имеют физическую природу; это – кинетика на фронте кристаллизации и тепломассоперенос [1]. Типичные значения скорости выращивания таких монокристаллов ≈ 100 мм/час ($\approx 1,7$ мм/мин.). Промышленное выращивание монокристаллов кремния по методу Чохральского осуществляется со скоростями 1,0...1,6 мм/мин. [2], а по методу бестигельной зонной плавки (БЗП) $\approx 3...5$ мм/мин. [3]. Повышение скорости выращивания монокристалла обычно приводит к образованию дислокаций и в дальнейшем – к спонтанной кристаллизации и как результат – к росту поликристалла [4].

Однако ряд полученных экспериментальных результатов свидетельствуют о возможности существенного повышения скорости выращивания монокристалла кремния, не содержащего протяженных структурных дефектов (дислокаций,

дефектов упаковки, границ блоков, двойниковых ламелей) [5]. Отсюда следует, что помимо кинетики на фронте кристаллизации и тепломассопереноса существуют и иные факторы, оказывающие существенное влияние на скорость роста монокристаллов кремния и германия с высоким структурным совершенством.

Ранее [6] на основе анализа собственных и литературных экспериментальных данных нами был предложен механизм ускоренного роста монокристаллов кремния и германия, учитывающий кристаллохимические аспекты фазового перехода жидкость – твердое тело. В основу этого механизма положены известные экспериментальные факты, согласно которым при кристаллизации кремния и германия плотность упаковки атомов падает от величин 0,58 в кремнии и 0,507 - в германии [7] до 0,34 в их кристаллической фазе (структурный тип алмаза [8]). В то же время расстояние между ближайшими соседними атомами уменьшается от величин 0,270 нм в кремнии и 0,275 нм - в германии [7] до 0,235 нм и 0,244 нм, соответственно, в их кристаллической фазе. Изменяются также координация атомов и тип химической связи между ними: в жидкой фазе координация октаэдрическая (координационное число КЧ=6) и тип связи – металлический, а в твердой - координация тетраэдрическая (координационное число КЧ=4) и тип связи – ковалентный. Согласно предложенному на основе вышеизложенных экспериментальных данных механизму, ускоренный рост монокристалла осуществляется путем скачкообразного изменения вблизи поверхности растущего кристалла кристаллохимических характеристик группировок атомов (составных частей расплава) от октаэдрической координации к тетраэдрической с последующим присоединением перестроившихся группировок к атомной ступеньке на его поверхности.

Изменение координации атомов и типа химической связи между ними при кристаллизации кремния и германия оказывают влияние и на плотность материала. Разуплотнение атомной упаковки при кристаллизации кремния и германия преобладает над уменьшением расстояния между ближайшими соседними атомами, в результате чего макроскопическая плотность твердой фазы уменьшается по сравнению с жидкой: до величины 2328 кг/м³ от 2530 кг/м³ в кремнии и до 5260 кг/м³ от 5510 кг/м³ - в германии [7].

Цель настоящей работы – проанализировать механизм изменения плотности кремния и германия при кристаллизации.

3 Механизм изменения плотности кремния и германия при кристаллизации

Уменьшение макроскопической плотности твердой фазы по сравнению с жидкой в германии и кремнии, как уже было отмечено выше, установлено экспериментально многими авторами (рис. 1).

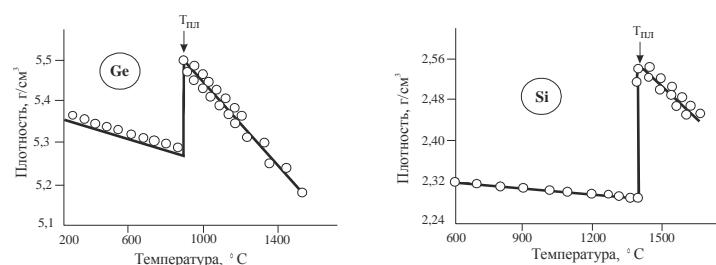


Рис.1. Температурная зависимость плотности германия и кремния, определенная по экспериментальным данным разных авторов [9]

Как видно на рис. 1, на температурной зависимости плотности германия и кремния наблюдается пик плотности в точке температуры плавления (кристаллизации). Из теории и практики выращивания монокристаллов из расплавов известно, что вблизи фронта кристаллизации необходимо создавать область переохлаждения ΔT , в которой градиент температуры $\text{grad}T$ значительно выше, чем в остальной части расплава [4]. В установках для выращивания монокристаллов из расплава по методу Чохральского максимальная скорость вытягивания монокристалла из расплава является функцией температурного градиента на фронте кристаллизации в направлении оси монокристалла:

$$V_{\max} = \frac{k}{h \cdot d} \cdot \frac{dT}{dx},$$

где k – коэффициент теплопроводности кристаллического кремния, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$;

h – удельная теплота плавления, $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{кг}^{-1}$;

d – плотность монокристалла, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$.

Но в реальных условиях величина максимально допустимой скорости вытягивания монокристала на 30...50 % ниже теоретической величины V_{\max} [4]. При выращивании монокристалла кремния из расплава по методу бестигельной зонной плавки (БЗП) от величины соотношения $V_{\text{роста}}/\text{grad}T$ зависит тип микродефектов, образующихся в монокристалле [10]. Отсюда можно заключить, что высокая величина температурного градиента на фронте кристаллизации не только является необходимым условием для повышения скорости выращивания монокристалла из расплава, но и влияет на процессы присоединения атомов к растущему кристаллу.

В работе [11] при исследовании структуры расплава германия было показано, что его атомы образуют, среди возможных, цепочечный мотив со связью ковалентного типа. Общее число атомов, образующих в расплаве германия подобные фрагменты, увеличивается со снижением температуры расплава и вблизи температуры плавления 940 °C составляет около 45 %. Согласно результатам моделирования, цепочки из атомов германия образуют ломаные линии, которые пересекаются между собой, а количество атомов в цепочке может достигать пяти (рис. 2).

К сожалению, авторами [11] не указываются углы между звеньями цепочки, что не дает возможности судить о координации ближайших соседей. В частности, угол 109,5° свидетельствовал бы о тетраэдрической координации, свойственной ковалентной связи. Тем не менее, существование ковалентных связей между атомами в расплавах чистых германия, кремния и олова подтверждается и другими исследователями [12, 13].

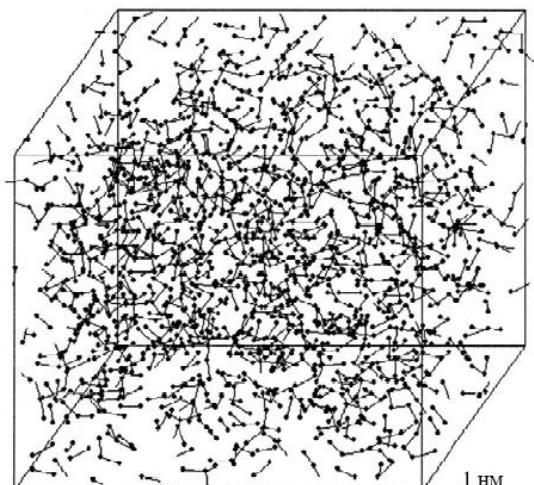


Рис. 2. Модель структуры жидкого германия [11]

Логично предположить, что в области переохлаждённого расплава на фронте кристаллизации концентрация группировок атомов с ковалентной связью внутри цепочек должна повышаться. На основании анализа приведённых выше экспериментальных фактов и теоретических предпосылок предлагаем следующий механизм кристаллизации кремния и германия.

В процессе выращивания монокристалла кремния на его поверхности, контактирующей с расплавом, вследствие обрыва периодичности кристаллической решетки образуется высокая концентрация ненасыщенных межатомных связей [8]. Высокая концентрация свободных валентностей на поверхности атомных ступенек с кристаллографической ориентировкой {111} в решётке алмаза (рис. 3) приводит к созданию поверхностного потенциала. В условиях градиента температуры на фронте кристаллизации величина этого потенциала оказывается достаточной для корректировки взаимного пространственного расположения атомов внутри цепочки в соответствии с тетраэдрической координацией, а также для захвата атомами цепочек электронов из «электронного газа» жидкой фазы и образования ненасыщенных ковалентных связей по бокам цепочек (рис.3, справа вверху).

Переход происходит скачком при приближении атомных цепочек на короткое расстояние к поверхности кристалла, где достаточно велико ориентирующее влияние поверхностного потенциала. Такой переход осуществляется без разрушения связей в цепочке путём их переориентации под действием симметрии поверхностного потенциала растущего кристалла и стремления к sp^3 -гибридизации валентных электронов поверхностных и присоединяющихся атомов. Подобный переход к тетраэдрической (с углами 109,5°) координации связей между соседними атомами возможен и для атомной группировки с октаэдрической координацией ближних соседей (с КЧ=6 и прямыми углами между связями в «размытой» тепловыми колебаниями примитивной кубической решётке), типичной для жидкой фазы кремния и германия (смотри рис. 3, в центре, вверху).

Присоединение к атомной ступеньке на поверхности растущего кристалла не только отдельных атомов, но и их группировок с уже сформированной тетраэдрической ориентацией ковалентных связей способствует ускоренному росту кристалла без образования таких протяжённых структурных дефектов, как дислокации, дефекты упаковки и двойники. Однако большой вклад в механизм

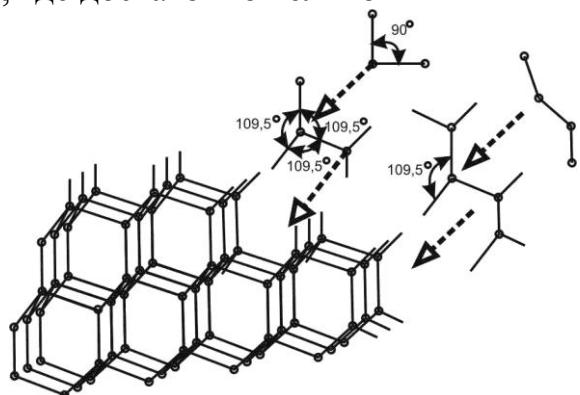


Рис. 3. Схема присоединения к краю ступеньки роста с поверхностью {111} атомных группировок с тетраэдрической ориентацией ковалентных связей, сформировавшихся путем скачкообразного перехода их кристаллохимических характеристик в переохлаждённой области расплава вблизи фронта кристаллизации

кристаллизации сформированных в жидкой фазе атомных группировок повышает вероятность образования вакансий в кристаллической решётке. При остывании монокристалла вакансии выделяются из твёрдого раствора в решётке, образуя микродефекты вакансационного типа (D-микродефекты), что наблюдалось нами и иными исследователями в эксперименте [5, 10].

Скачкообразный переход кристаллохимических характеристик атомных группировок в переохлаждённой области расплава вблизи фронта кристаллизации приводит и к скачкообразному («туннельному») переходу плотности в жидкой фазе кремния от $2,53 \text{ г}/\text{см}^3$ до $2,33 \text{ г}/\text{см}^3$ в его переохлаждённой области на фронте кристаллизации, минуя максимальное её значение при температуре, несколько превышающей температуру плавления (рис.4). При кристаллизации германия переход плотности составляет от $5,51 \text{ г}/\text{см}^3$ до $5,26 \text{ г}/\text{см}^3$, соответственно.

Выводы

Описанный выше вид кристаллизации может быть назван «туннельным» по следующим соображениям:

- переход плотности кремния в жидкой фазе от $2,53 \text{ г}/\text{см}^3$ до $2,33 \text{ г}/\text{см}^3$ – в его переохлаждённой области вблизи фронта кристаллизации происходит минуя максимальное её значение при температуре, несколько превышающей температуру плавления (рис.1);
- переход кристаллохимических характеристик группировок атомов в расплаве осуществляется без разрушения связей внутри группировки (а, следовательно, без затраты энергии на преодоление потенциального барьера, необходимого для такого разрушения) между входящими в них атомами. Переориентация связей и изменение их типа с металлического на ковалентный происходит под действием симметрии поверхностного потенциала растущего кристалла и в результате небольшого перекрытия электронных облаков атомов, принадлежащих кристаллу, и атомов группировок, близко подошедших к его поверхности.

По-существу, «туннельный» переход кристаллохимических характеристик группировок атомов - это способ самоорганизации атомов в расплаве вблизи фронта кристаллизации, осуществляющийся в результате стремления к sp^3 -гибридизации валентных электронов между атомами на поверхности атомной ступеньки растущего кристалла и присоединяющимися к нему атомами.

Список литературы: 1. Багдасаров Х.С. Высокотемпературная кристаллизация из расплава / Х.С. Багдасаров. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 160 с. 2. Пат. 34160 Україна, МПК (2006) C30B. Спосіб вирощування монокристалів кремнію з розплаву / Воляр Р.М., Головко Ю.В., Єгоров

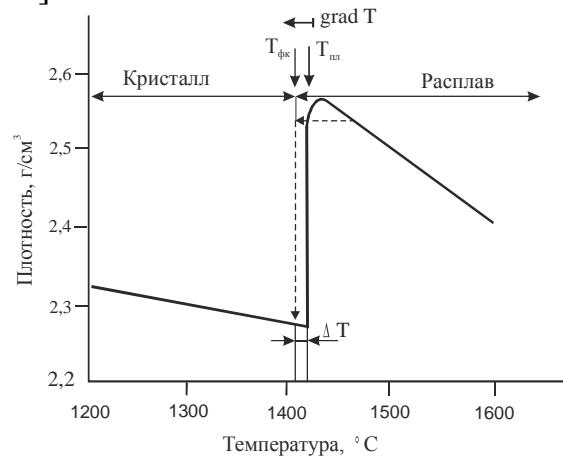


Рис. 4. «Туннельный» переход плотности кремния в жидкой фазе от $2,53 \text{ г}/\text{см}^3$ в расплаве до $2,33 \text{ г}/\text{см}^3$ в его переохлаждённой области на фронте кристаллизации

С.Г., Пожуєв І.В., Швець Є.Я.; заявник і патентовласник Запорізька держ. інж. акад. – № і 2008 04036; заявл. 31.03.2008; опубл. 25.07.2008, Бюл. № 14.3. Пат. 35367 Україна, МПК С 30 В 15/00. Спосіб вирощування монокристалів кремнію з розплаву / Пожуєв В.І., Воляр Р.М., Головко Ю.В., Єгоров С.Г., Швець Є.Я.; заявник і патентовласник Запорізька держ. інж. акад. – № і 2008 05593; заявл. 29.04.2008; опубл. 10.09.2008.4. Технология полупроводникового кремния / [Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др.]; под ред. Э.С. Фалькевича. – М.: Металлургия, 1982. – 408 с.5. Воронков В.В. Влияние скорости роста и температурного градиента на тип микродефектов в бездислокационном кремнии / В.В. Воронков, Г.И. Воронкова, Н.В. Веселовская, М.Г. Веселовская, И.Ф. Червоный // Кристаллография. – 1984.- Вып. 6. – С. 1176-1181.6. Червоный И.Ф., Швец Е.Я., Головко Ю.В., Егоров С.Г. Механизм ускоренной кристаллизации кремния // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. - № 6/5 (54). – С. 19-22.7. Полтавцев Ю.Г. Структура полупроводниковых расплавов / Ю.Г. Полтавцев. – М.: Металлургия, 1984. – 178 с.8. Шаскольская М.П. Кристаллография / М.П. Шаскольская. – М.: Высш. Школа, 1976. – 391 с.9. Глазов В.М. Жидкие полупроводники / В.М. Глазов, С.Н. Чижевская, Н.Н. Глаголева. – М.: Наука, 1967. – 244 с.10. Сорокин Л.М. Механизм образования микродефектов при выращивании бездислокационных монокристаллов кремния / Л.М. Сорокин, А.А. Ситникова, И.Ф. Червоный, Э.С. Фалькевич // Физика твердого тела. – 1991. – Том 33. - № 11. - С. 3229-3234.11. Казимиров В.П. Характер упорядочения атомов в расплаве и поверхностные свойства простых эвтектических систем / В.П. Казимиров, А.С. Роик, В.М. Перевертайло, О.Б. Логинова, С.А. Лисовенко // Сверхтвердые материалы. – 2008. - №4. – С. 35.- 52. www.ism.kiev.ua12. Tsuji K. Pressure dependence of the structure of liquid group 14 elements / K. Tsuji., T. Hattrori, T. Mori et al // J. Phys.: Condens. Matter.- 2004. - № 16.- P. 989-996.13. Goto R. Structural and electronic properties of liquid Ge—Sn alloys: ab initio molecular-dynamic simulation / R. Goto, F. Shimojo, S. Nunejiri, K. Hoshino // J. Phys. Soc. Japan. - 2004. - 73, № 10.- P. 2746-2752.

Поступила в редакцию 17.03.2012

**ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И
НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ЭКОЛОГИЯ**

УДК 664.3:547

A.П. МЕЛЬНИК, докт. техн. наук, проф. НТУ “ХПІ”, Харків,

В.Ю. ПАПЧЕНКО, канд. техн. наук, НТУ “ХПІ”, Харків,

Т.В. МАТВЄЄВА, канд. техн. наук, доц., НТУ “ХПІ”, Харків,

С.Г. МАЛІК, інженер, НТУ “ХПІ”, м. Харків,

С.О. КРАМАРЕВ, аспірант, НТУ “ХПІ”, м. Харків

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОДЕРЖАННЯ КИСЕНЬ-, АЗОТОВМІСНИХ
ПОХІДНИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ АМІДУВАННЯМ
СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ**

Розглянуто реакцію взаємодії β – гідроксіетилендиаміна і триацилгліциринів соняшникової олії при мольному відношенні реагентів вихідних реагентів 1:1÷1:3 в інтервалі температур 413 – 453 К впродовж 6 годин. Досліджено зміни складу реакційної маси з часом реакції.

Рассмотрели реакцию взаимодействия β – гидроксиэтилдиамина и триацилглицеринов подсолнечного масла при мольном соотношении исходных реагентов 1:1÷1:3 в интервале температур 413 – 453 К в течение 6 часов. Исследованы изменения состава реакционной массы с временем реакции.

The reaction of β – hydroxyethylendiamine with triglycerides of sunflower oil under molar relation of reagents 1:1÷1:3 and temperature 413 – 453 K during 6 hours was examined. Changes of content of reactive mass were investigated against time of the reaction.

Рослинні олії використовують у світі, як одне з джерел для отримання не тільки харчових продуктів, косметичних та лікувальних засобів, але й в різних галузях промисловості, тому рослинні олії, як відновлювальна оліє-жирова база, є найбільш перспективною. На основі рослинних олій можна отримувати кисеньвмісні продукти, а саме ді- та моноацилгліцирини – поверхнево-активні речовини, які використовують як емульгатори у харчовій та парфумерно-косметичній промисловості. В розвинутих країнах ді- з моноацилгліциринами одержують за складними та енергоємними технологіями етерифікації, гліцеролізу чи за ферментними технологіями [1, 2, 3]. Крім того, на основі рослинних олій можна отримувати азотовмісні [4, 5, 6] та циклічні азотовмісні органічні речовини, а саме алкілімідазоліни, які проявляють поверхнево-активні властивості, зокрема диспергуючі, інгібуючі, піноутворюючі, миючі, очищувальні та інші властивості. Проблема використання відновлювальних джерел сировини (рослинних олій) у теперішній час має не тільки техніко-економічне (за рахунок енергозбереження, імпортозаміщення і можливості експорту), але й соціальне значення. На цей час відсутнє вітчизняне виробництво кисеньвмісних та цикліческих азотовмісних органічних речовин. В зв’язку з вище викладеним, дослідження які направлені на встановлення кінетичних закономірностей реакцій перетворення рослинних олій в кисеньвмісні і цикліческі азотовмісні продукти, які можна застосувати у харчовій, парфумерно-

косметичній, фармацевтичній, нафтогазовій та інших галузях промисловості є актуальним.

Виходячи з актуальності мета роботи на даному етапі дослідження полягає в встановленні компонентного складу реакційних мас при перетворенні соняшникової олії за реакцією амідування.

У дослідженні використано соняшникову олію рафіновану відповідно до ДСТУ 4492:2006 і β – гідроксіетиленіндіамін виробництва Merck (Німеччина), масова доля основної речовини 99,0 %, вологи 0,5 %.

Реакцію прямого амідування триацилгліцеринів соняшникової олії β – гідроксіетиленіндіаміном проведено при мольному відношенні вихідних реагентів 1:1÷1:3 в інтервалі температур 413 – 453 К впродовж 6 годин і при використанні каталізатору за методикою згідно [5]. У зразках реакційних мас, які відібрано під час реакції, визначено концентрації компонентів реакційних мас, як в [5]. Дослідження компонентного складу реакційних мас проведено на силікагелевих пластинах Silufol хроматографією на тонкому шарі [7]. На рис. 1 приведено приклад хроматограми на тонкому шарі продуктів синтезу і речовин-свідків: соняшникова олія (СО), β – гідроксіетиленіндіамін (АЕЕА), моноацилгліцерини (МАГ), гліцерин (Гл), діаміди (ДАД), аміноаміди (АА), жирні кислоти (ЖК).

З рис. 1 видно, що до складу реакційних мас, які одержані при взаємодії триацилгліцеринів соняшникової олії β – гідроксіетиленіндіаміном входять: триацилгліцерини (ТАГ), діацилгліцерини (1,3-ДАГ і 1,2-ДАГ), МАГ, Гл, ДАД, АА, алкілімідазоліни (АІ), АЕЕА, ЖК. Це підтверджує те, що під час амідування соняшникової олії утворюються не тільки МАГ і ДАГ, але й ДАД, АА, АІ та Гл, як можливі кінцеві продукти, що знаходяться в суміші з вихідною сировиною.

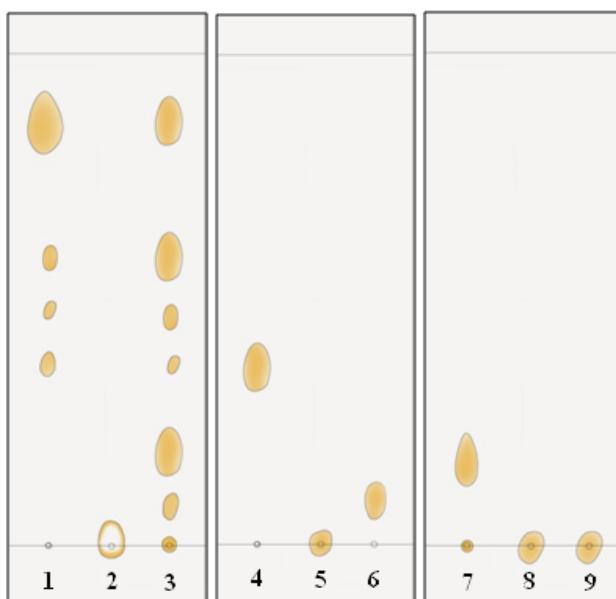


Рис. 1 – Хроматограми реакційної суміші та зразків-свідків, де 1 – СО; 2 – АЕЕА; 3 – реакційна маса; 4 – олеїнова кислота; 5 – Гл; 6 – МАГ; 7 – ДАД жирних кислот соняшникової олії; 8 – АА пальмітинової кислоти; 9 – ДАД пальмітинової кислоти.

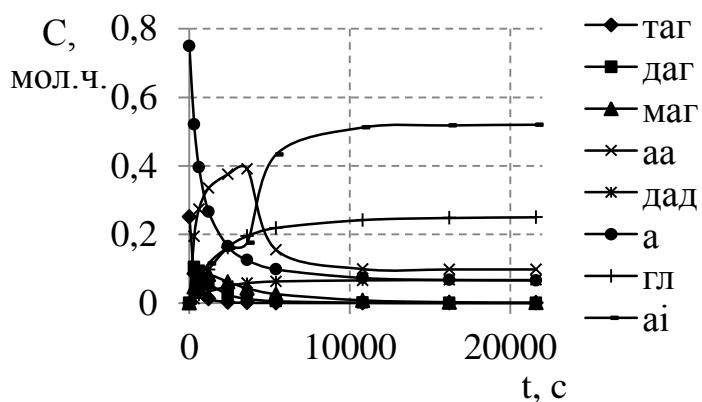


Рис. 2 – Залежності змін компонентного складу продуктів реакції отриманих при взаємодії ТАГ СО з АЕЕА при МВ 1:3 і температурі синтезу 453 К, де таг – триацилгліцирини; даг – діацилгліцирини; маг – моноацилгліцирини; аа – аміноаміди; дад – діаміни; а – β – гідроксіетилендіамін; гл – гліцирин; аі – алкілімідазоліни

Впродовж реакції отримано залежності змін поточних концентрацій компонентів реакційних мас від часу реакції. Деякі з одержаних залежностей приведено рис. 2. Дослідження змін компонентного складу в залежності від часу амідування свідчить про те, що концентрація ТАГ систематично зменшується, а концентрація ДАГ збільшується, тобто змінюється співвідношення між компонентами реакційної суміші. Концентрація МАГ також збільшується, що підтверджено кількісним визначенням вмісту α -МАГ у реакційній суміші титрометричним методом [8, 9]. Присутність в реакційних масах Гл, ДАД, АЕЕА, АА також підтверджено титрометричними методами [4, 5, 6]. У подальшому досліджені концентрацію ДАГ визначено розрахунковим методом з врахуванням матеріального балансу.

Висновки: В результаті проведеної роботи встановлено, що при амідуванні соняшникової олії β – гідроксіетилендіаміном в дослідженіх умовах протікає ряд реакцій, які зумовлюють утворення не тільки азотопохідних жирних кислот, але і таких кисеньвмісних продуктів як моноацилгліцирини, діацилгліцирини, гліцирин.

Список літератури: 1. Горяев М.И. Синтез и применение моноглицеридов / Горяев М.И. – Алма-Ата: Наука, 1975. – 135 с. 2. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / [под ред. А.Г. Сергеева]. – Л.: НПО „Масложирпром”, 1989. – Т. VI. – 357 с. 3. Технология переработки жиров / Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Янова Л.И. и др. – М.: Пищепромиздат, 1999. – 452 с. 4. Матвеева Т.В. Технология отrimання моноацилгліциринів амідуванням соняшникової олії: дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.18.06 / Матвеева Тетяна Вікторівна – Харків, 2005. – 190 с. 5. Діхтенко К.М. Технологія отrimання моноацилгліциринів амідуванням ріпакової олії: дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.18.06 / Діхтенко Костянтин Миколайович – Харків, 2008. – 184 с. 6. Папченко В.Ю. Технологія моно-, діацилгліциринів та діетаноламідів жирних кислот амідуванням соняшникової олії: дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.18.06 / Папченко Вікторія Юріївна – Харків, 2011. – 204 с. 7. Jeineck A.E. Glyserolysis of linseed oil: F compositional study / A.E. Jeineck // JAOCs. – 1969. – 9. – С. 447 – 451. 8. Руководство по методам исследования, технологическому контролю и учёту производства в масложировой промышленности // Под. ред. Ржехина В.П., Сергеева А.Г., Т. III. – Л.: НПО

“Масложирпром”, 1964. – 408 с. 7. AOCS OFFICIAL METHOD Cd11-57 α-Monoglycerides.
9. Heineck A.E., Bergseth. Glycerolysis of linseed oil: F compositional study // JAOCs. – 1969. № 9. – S. 447-451.

Поступила в редакцию 05.04.2012

УДК 547.497.6:547.584

В.В. ШТАМБУРГ, канд. хим. наук, ст. преп., НТУ «ХПИ», Харьков,

С.А. ПАНЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ», Харьков,

А.В. МАЗЕПА, канд. хим. наук, старш. научн. сотр., ИФХ им. А.В. Богатского НАН Украины, Одесса,

А.Е. ШИШКО, студент IV курса, НТУ «ХПИ», Харьков,

В.Б. ДИСТАНОВ, канд. хим. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков,

В.Г. ШТАМБУРГ, док. хим. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков

СИНТЕЗ ДИБРОМИДОВ 1,8-БІС(ТРИАЛКІЛАММОНИЙ)-3,6-ДІОКСАОКТАНОВ И РОДСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Диброміди 1,8-біс(триалкіламоній)-3,6-діоксаоктанів та 1,8-біс(N-аміно-N,N-диметиламоній)-3,6-діоксаоктану синтезовано реакцією 1,8-дібром-3,6-діоксаоктану з третинними амінами та 1,1-диметилгідразіном, відповідно.

Дибромиды 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-диоксаоктанов и 1,8-бис(N-амино-N,N-диметиламмоний)-3,6-диоксаоктана были синтезированы реакцией 1,8-дигидро-3,6-диоксаоктана с третичными аминами и 1,1-диметилгидразином, соответственно.

The 1,8-bis(trialkylammonium)-3,6-dioxaoctane dibromides and 1,8-bis(N-amino-N,N-dimethylammonium)-3,6-dioxaoctane dibromide have been synthesized by the reaction of 1,8-dibromo-3,6-dioxaoctane with *tert*-amines and 1,1-dimethylhydrazine, respectively.

Соли 1,8-біс(триалкіламоній)-3,6-діоксаоктанов являються удачным гибридом четвертичных аммониевых солей и подандов, содержащих олигооксаэтиленовую цепь. Подобно 1,8-біс(диалкіламіно)-3,6-діоксаоктанам [1], они оказались действенными катализаторами фазового переноса (КФП) в гетерофазном синтезе триалкилортормиатов из хлороформа, спирта и щелочи [2,3]. Увеличение длины олигооксаэтиленовой цепи делает их более эффективными КФП, чем хлориды 1,5-біс(триалкіламоній)-5-оксапентана [4]. Однако к настоящему времени удобные методики синтеза бромидов 1,8-біс(триалкіламоній)-3,6-діоксаоктанов не были описаны. Их разработке посвящена данная статья.

Дибромиды 1,8-біс(триалкіламоній)-3,6-діоксаоктанов получаются с высоким выходом при взаимодействии 1,8-дібром-3,6-диоксаоктана с триалкіламіном либо в среде ацетонитрила, либо (в случае триметиламина) при комнатной температуре в среде нитрометана (схема 1). Аналогичным образом из 1,8-дібром-3,6-диоксаоктана и 1,1-диметилгидразина при 20°C в среде ацетонитрила получен дибромид 1,8-біс(N-амино-N,N-диметиламоній)-3,6-діоксаоктана 5.

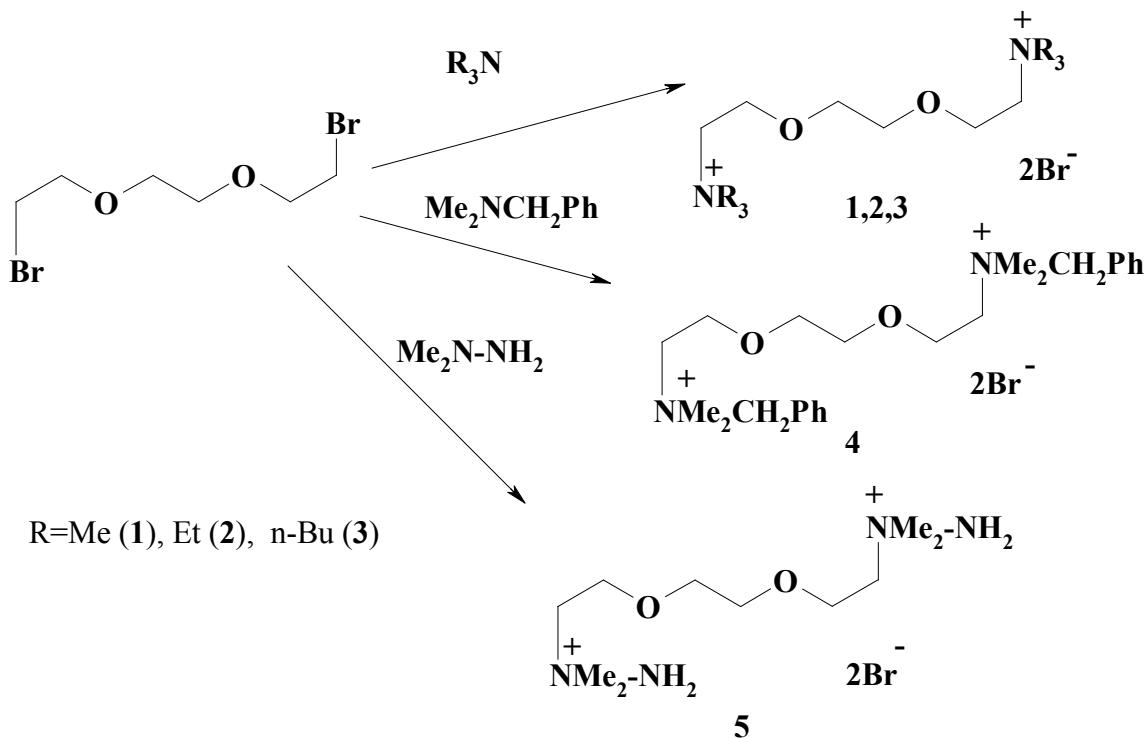


Схема 1. Синтез дибромидов 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-диоксаоктанов **1** – **4** и дибромида 1,8-бис(Н-амино-Н,N-диметиламмоний)-3,6-диоксаоктана **5**

Строение соединений **1** – **5** однозначно подтверждается данными спектров ЯМР ^1H и, в случае соединения **5**, данными масс-спектра. В спектрах ЯМР ^1H присутствуют сигналы протонов как трисоксаэтиленовой цепи, так и Н-алкильных групп. В масс-спектре соединения **5** (режим FAB) доминируют пики ионов $[\text{M}^{2+}+\text{Br}]^+$ с m/z 317 (95 %) и 315 (100 %), соответственно.

Таким образом, предложен удобный способ синтеза дибромидов 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-диоксаоктанов, новой перспективной разновидности катализаторов фазового переноса.

Экспериментальная часть

Спектр ЯМР ^1H регистрировали на спектрометрах "Varian VXR-300" (300 МГц) и "Mercury-400" (400 МГц, Me_4Si в качестве внутреннего стандарта; приведены значения δ , м.д., КССВ (J), Гц.). Масс-спектры записаны в режиме FAB (Fast Atom Bombarded, метод десорбционной ионизации) на приборе VG 70-10EQ. Ацетонитрил и нитрометан абсолютизировали кипячением и перегонкой над P_2O_5 , ацетон абсолютизировали кипячением и перегонкой над MgSO_4 .

1,8-Бис(триметиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид (1). Смесь 1,78 г (30,1 ммоль) триметиламина, 1,10 г (4 ммоль) 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана и 5 мл абс. нитрометана в запаянной ампуле выдерживали при 25 – 30°C в течении 40 суток; ампулу вскрыли, выпавший осадок отфильтровали, промыли 1) 5 мл ацетонитрила, 2) 10 мл ацетона, сушили у вакууме 1 мм рт. ст. Получено 1,38 г (88 %) дибромида 1,8-бис(триметиламмоний)-3,6-диоксаоктана **1**, бесцветные кристаллы, т.пл. 251 – 255°C (с разл.). Спектр ЯМР ^1H (300 МГц, $(\text{CD}_3)_2\text{SO}$, σ , м.д.): 3,162 (с, 18H, N^+Me_3), 3,56 – 3,62 (м, 4H, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{CH}_2\text{O}$), 3,635 (с, 4H, $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 3,84 – 3,91 (м, 4H, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{CH}_2\text{O}$). Найдено, %: Br 37,98. $\text{C}_{12}\text{H}_{30}\text{Br}_2\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: Br 38,21.

1,8-Бис(триэтиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид (2).А. Раствор 2,76 г (10 ммоль) 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана и 4,04 г (40 ммоль) триэтиламина в 8 мл абс. нитрометана выдерживали в запаянной ампуле при 60°C в течении 11 ч. Ампулу вскрыли, растворитель и избыток триэтиламина удалили в вакууме, остаток растерли с 16 мл ацетона. Отфильтровали белый осадок, промыли 20 мл ацетона, затем осадок растворили при нагреве в 10 мл ацетонитрила. К раствору добавили 30 мл ацетона, отфильтровали белый осадок, промыли 5 мл ацетона, сушили при 20 мм рт.ст. и 60°C. Получено 3,39 г (65%) сольваты **1,8-бис(триэтиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид·MeCN (2a)**, бесцветные кристаллы, т.пл. 89 - 90°C. После выдерживания в течении 1 ч при 80 - 90°C и 1 мм рт. ст. он превращается в 1,8-бис(триэтиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид **2**, бесцветные кристаллы, т. пл. 153 - 154°C (с разл.). Спектр ЯМР ^1H (300 МГц, $(\text{CD}_3)_2\text{SO}$, σ , м.д.): 1,19 (т, 18Н, $\text{N}^+\text{CH}_2\text{Me}$, $^3J = 7,0$ Гц); 3,34 (к, 12Н, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{Me}$, $^3J = 7,0$ Гц); 3,44 – 3,46 (м, 4Н, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{CH}_2\text{O}$); 3,61 (с, 4Н, $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$); 3,78 – 3,83 (м, 4Н, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{CH}_2\text{O}$). Найдено, %: C 44,93; H 9,06; N 5,84. $\text{C}_{18}\text{H}_{42}\text{Br}_2\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 45,20; H 8,85; N 5,86. Б). Раствор 2,76 г (10 ммоль) 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана и 4,05 г (40 ммоль) триэтиламина в 20 мл абс. ацетонитрила кипятили 7 ч, затем упарили наполовину в вакууме, остаток выдерживали при 5°C в течении 2 суток, отфильтровали выпавший осадок сольваты дибромида 1,8-бис(триэтиламмоний)-3,6-диоксаоктана, сушили в вакууме. Получено 1,12 г (21,5%) соли **2·MeCN**. Из маточника отогнали в вакууме ацетонитрил, остаток размешали с 20 мл ацетона, полученный осадок отфильтровали, мыли 5 мл ацетона, сушили в вакууме. Получено 1,15 г (24,0%) дибромида 1,8-бис(триэтиламмоний)-3,6-диоксаоктана·MeCN.

1,8-Бис(три-*n*-бутиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид (3). Смесь 1,039 г (3,728 ммоль), 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана, 1,380 г (7,442 ммоль) три-*n*-бутиламина и 5 мл абс. ацетонитрила в запаянной ампуле выдерживали 40 ч при 100°C до наступления полной гомогенизации реакционной смеси. Затем ампулу вскрыли. Ацетонитрил удалили в вакууме, растворили в 3,5 мл дихлорметана, добавили 3,5 мл гексана. Отделили нижнюю жидкую фазу, растворили ее в 3 мл дихлорметана, переосадили 9 мл гексана. Отделили нижнюю маслобобразную фазу. Выдерживали ее 5 ч при 5мм рт. ст. и 10°C. Получено 2,400 г (99 %) дибромида 1,8-бис(три-*n*-бутиламмоний)-3,6-диоксаоктана **3**, бесцветное вязкое масло, т. пл. 10 - 11°C, идентифицированного по спектру ЯМР ^1H с заведомым образцом [3]. Найдено, %: Br 24,44. $\text{C}_{30}\text{H}_{66}\text{Br}_2\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: Br 24,71.

1,8-Бис(*N*-бензил-*N,N*-диметиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид (4) получен с выходом 81% аналогично соединению **2**, бесцветные кристаллы, т.пл. 186 - 188 °C (с разл.). Спектр ЯМР ^1H (300 МГц, $(\text{CD}_3)_2\text{SO}$, σ , м.д.): 3,36 (с, 12Н, N^+Me_2), 3,52 – 3,60 (м, 4Н, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{CH}_2\text{O}$), 3,68 (с, 4Н, $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 3,92 – 4,00 (м, 4Н, $\text{N}^+\underline{\text{CH}_2}\text{CH}_2\text{O}$), 4,646 (с, 4Н, $\text{Ph}\underline{\text{CH}_2}$), 7,52- 7,61 (м, 5Н, Ph). Найдено, %: Br 29,01. $\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{Br}_2\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: Br 29,25.

1,8-Бис(*N*-амино-*N,N*-диметиламмоний)-3,6-диоксаоктана дибромид (5). Раствор 1,33 г (4,825 ммоль) 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана и 1.16 г (19,30 ммоль) 1,1-диметилгидразина в 5 мл абс. Ацетонитрила выдерживали в запаянной ампуле при 20 – 22°C в течении 18 суток, затем ампулу вскрыли, отфильтровали

образовавшийся осадок, промыли 5 мл абс. ацетонитрила, сушили при 5 мм рт. ст. и 22°C 5 ч. Получено 1,60 г (84 %) дибромида 1,8-бис(Н-амино-N,N-диметиламмоний)-3,6-диоксаоктана **5**, бесцветные кристаллы, т.пл. 160 – 162°C. Mass-спектр (FAB, m/z(I_{отн.} в %): 317 [M²⁺+Br]⁺ (95), 315 [M²⁺+Br]⁺ (100), 236 (19), 222 (52). Спектр ЯМР ¹H (400 МГц, (CD₃)₂SO, σ, м.д.): 3,369 (с, 12H, N⁺Me₂), 3,663 (с, 4H, OCH₂CH₂O), 3,72 – 3,82 (м, 4H, OCH₂CH₂N⁺), 3,90 – 3,98 (м, 4H, OCH₂CH₂N⁺), 6,22 (с, 4H, NH₂). Найдено, %: Br 39,98. C₁₀H₂₈Br₂N₄O₂. Вычислено, %: Br 40,34.

Список литературы: 1. Штамбург В.Г., Скобелев О.Л., Гринев В.М., Дмитренко А.А. Плешкова А.П., Притыкин Л.М. Синтез и использование α,ω-бис(Н,N-диалкиламино)олигооксаалканов и их аналогов как катализаторов фазового переноса для получения триалкилортогоформиатов в гетерогенных системах. // Журн. Орган. Хим. -1995. – т.31, № 3. – С.660 – 664. 2. Притыкин Л.М., Штамбург В.Г Дмитренко А.А., Гринев В.М., Скобелев О.Л. Получение триалкилортогоформиатов из хлороформа и спиртов в условиях меж фазного катализа. // Доп. НАН України. – 1995. - № 7. – С. 114 – 117. 3. Штамбург В.Г, Скобелев О.Л., Козак И.Ю., Гринев В.М., Дмитренко А.А., Омельницкий В.Л. Способ получения триэтилортогоформиата. // Авт. св. СССР № 1781203 (1990). Опубл. в Б.И. -1992. - № 46. 4. Alvarez-Bailla J., Vaquero J.J., Navio J.L.G., Cabello J.F., Sankes C., Fau de Casa-Juane M., Dorrego F., Santos L. 1,5-Bis(N-benzyl-N,N-diethylammonium)diethylether dichloride (BBDE Cl). A novel bis-ammonium salt as phase transfer catalyst. // Tetrahedron. – 1990. – V. 46, N 3. – P. 967 – 978.

Поступила в редакцию 05.04.2012

УДК 667

С.О.ПЕТРОВ, викладач-стажист, НТУ «ХПІ», Харків,
В.Б.ДІСТАНОВ, канд. хім. наук, доцент, НТУ «ХПІ», Харків,
А.Г.БЄЛОБРОВ, канд. техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ СИНТЕЗУ ПОХІДНИХ ОКСАЗОЛОНІВ

У статті надані дані дослідження впливу температурного режиму та часу перебігу реакції на вихід похідних оксазол-5-онів, що можуть бути застосовані в якості флуоресцентних барвників для поліефірних матеріалів. Встановлено залежність виходу кінцевого продукту від температури та часу реакції. Розраховано рівняння, яке описує залежність виходу біс-2-феніл-10-[*(E)*-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-*b*][1,5]-бен-зодіазепіну від температурного режиму та часу перебігу реакції.

В статье представлены данные исследования влияния температурного режима и времени протекания реакции на выход производных оксазол-5-онов, которые могут быть применены в качестве флуоресцентных красителей для полимерных материалов. Установлена зависимость выхода конечного продукта от температуры и времени реакции. Рассчитано уравнение, описывающее зависимость выхода от температурного режима и времени протекания реакции.

The article provided data investigation of temperature and time course of the reaction to yield derivatives of oxazole-5-ones that can be used as fluorescent dyes for polyester materials. The dependence of the output of the final product of temperature and reaction time. Calculated equation describing the dependence of output of temperature and time course of the reaction.

Асортимент флуоресцентних барвників для поліефірних матеріалів дуже обмежений. Для цього застосування може бути використаний порівняно вузький круг барвників, що мають поруч з великою яскравістю і термостійкість, тому що забарвлення ведеться при порівняно високій температурі [1]. У зв'язку з цим пошук нових люмінофорів для забарвлення лавсану є дуже актуальним.

Нами було отримано 14 похідних моно- та білоксазолонів (Рис. 1), дані про які у літературних джерелах нами не виявлені[2].

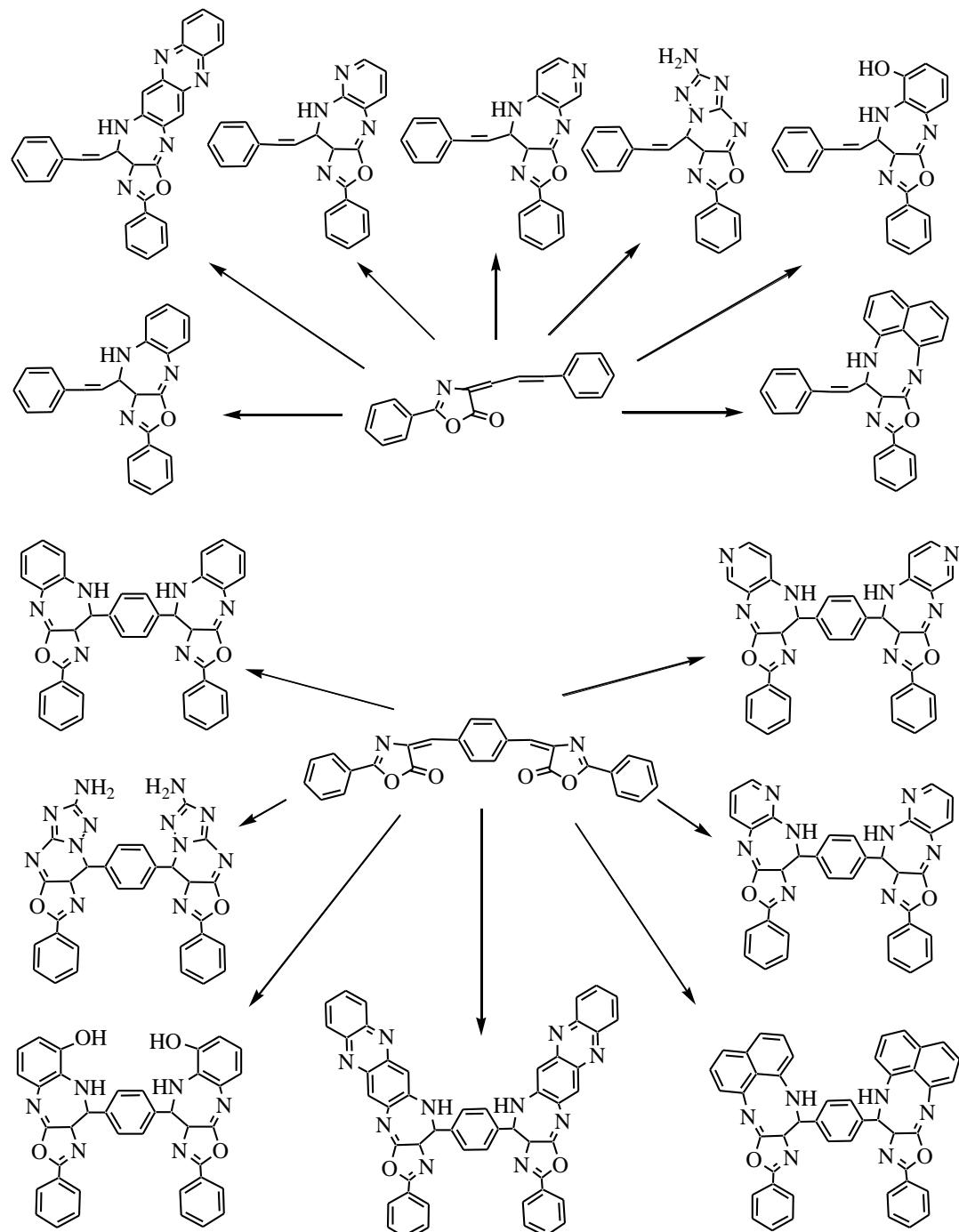


Рис.1 Похідні моно та білоксазолонів

Отримані сполуки флуоресціють у жовто-зеленій області спектру ($\lambda_{\text{макс.}}$ флуоресценції в толуолі 440-550 нм, абсолютний квантовий вихід $\eta=0,1-0,3$).

Сполуки легко розчиняються в органічних розчинниках, мають люмінесценцію у розчинниках різної полярності, причому з посиленням полярних властивостей розчинника інтенсивність люмінесценції збільшується. При цьому спектр люмінесценції отриманих речовин значно зсувається у довгохвильову область відносно вихідних продуктів [3]. Ця властивість речовин, що пропонуються, дозволяє забарвлювати різні види полімерних волокон в кольори, що мають інтенсивну люмінесценцію в широкому спектральному діапазоні довжин хвиль.

Синтез похідних оксазолону здійснювався за реакцією ароматичних ненасичених кетонів з о-діамінами, що характеризується різноманіттям напрямків формування нового гетероциклу, що призводить до різних, часом несподіваних, структур.

Відомо, що на механізм цієї реакції значний вплив чинить температурний режим. У зв'язку з цим нами було вирішено дослідити вплив температурного режиму та часу перебігу реакції на вихід кінцевих продуктів [4].

Для вирішення поставленої задачі нами були проведені додаткові дослідження. В якості моделі нами було обрано синтез біс-2-феніл-10-[*(E)*-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-*b*][1,5]-бензодіазепіну (Рис. 2).

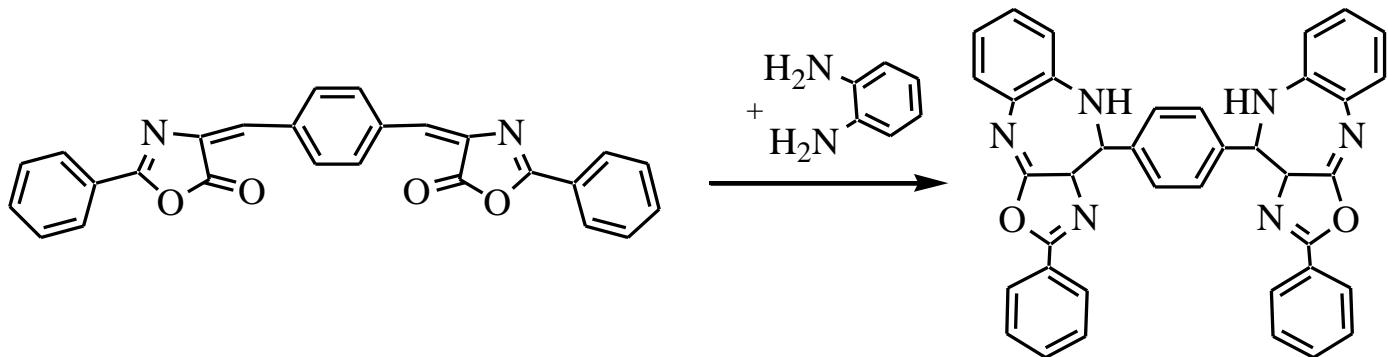


Рис. 2. Схема синтезу біс-2-феніл-10-[*(E)*-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-*b*][1,5]-бензодіазепіну

В результаті досліджень були отримані експериментальні дані залежності виходу біс-2-феніл-10-[*(E)*-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-*b*][1,5]-бензодіазепіну від температури та часу перебігу реакції (Таблиця).

На основі отриманих даних, за допомогою спеціалізованого статистичного пакету «Statistica» було розраховано рівняння реакції (1) та побудовано поверхневий графік (Рис.3), що описують залежність виходу біс-2-феніл-10-[*(E)*-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-*b*][1,5]-бензодіазепіну від температури та часу перебігу реакції:

$$y = 1,9754 + 0,1463 * x_1 + 0,0213 * x_2 - 0,0041 * x_1^2 - 5 * x_1 * x_2 - 5 * x_2^2 \quad (1)$$

де y – вихід продукту; x_1 – температура; x_2 – час перебігу реакції.

Таблиця. Експериментальні данні

Час, ч	T, °C	Вихід
10	65	5.00%
10	87	17.00%
10	109	30.00%
10	131	49.00%
10	153	49.00%
14	65	20.00%
14	87	34.00%
14	109	56.00%
14	131	78.00%
14	153	77.00%
17	65	20.00%
17	87	45.00%
17	109	70.00%
17	131	85.00%
17	153	80.00%
20	65	25.00%
20	87	51.00%
20	109	72.00%
20	131	85.00%
20	153	75.00%

Як видно з рисунку 3, на поверхні відгуку область максимуму відповідає значенню T 130-145°С та часу перебігу реакції 15-18 годин. Отже, нами встановлено кількісну залежність виходу біс-2-феніл-10-[*(E*)-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-*b*][1,5]-бен-зодіазепіну від температури та часу перебігу реакції.

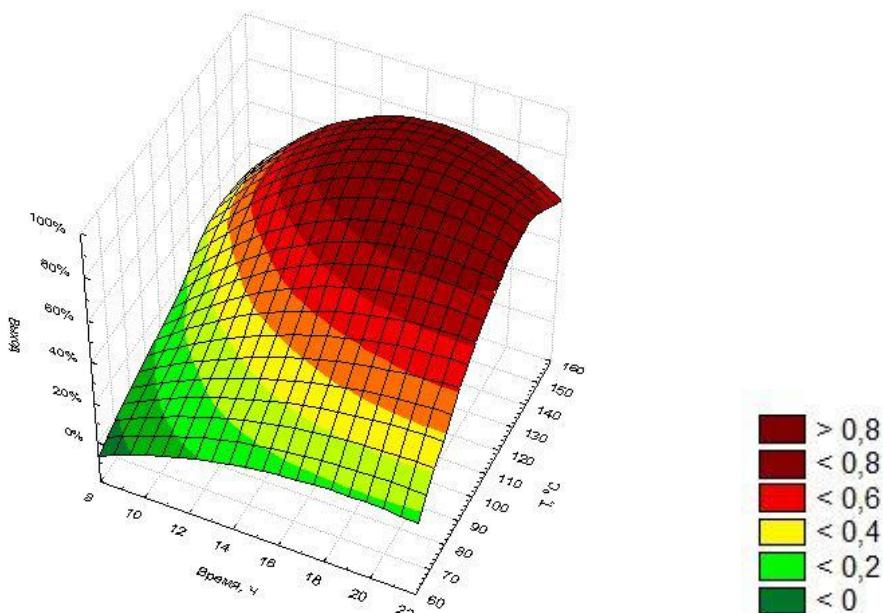


Рис. 3. Графік залежності виходу від температурного режиму та часу перебігу реакції.

Висновки. В результаті роботи було досліджено вплив температурного режиму та часу перебігу реакції на вихід кінцевих продуктів. Встановлено залежність виходу кінцевого продукту від температури та часу реакції. Розраховано рівняння, яке описує залежність виходу біс-2-феніл-10-[(E)-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-б][1,5]-бен-зодіазепіну від температурного режиму та часу перебігу реакції. Отримані математичні залежності доцільно використовувати при розрахунку матеріального та теплового балансів синтезу біс-2-феніл-10-[(E)-2-фенілетенил]-9Н-оксазоло[5,4-б][1,5]-бензодіазепіну.

Список літератури: 1. Красовицкий Б.М., Болотин Б.М. Органические люминофоры. М.: Химия, 1984. 336 с. 2. Петров С.О., Дістанов В.Б., Бслобров А.Г. Синтез та дослідження люмінофорів, похідних 2-феніл-4-циннамоїлденоксазол-5-ону – Харків, Вісник Національного технічного університету «ХПІ», 2011, №31 – с. 44-53. 3. Патент UA 67547 A, дата публікації 15.06.2004. 4. Десенко С.М., Орлов В.Д. Азагетероцикли на основе ароматических непредельных кетонов. Харьков: Фолио. – 148 с.

Поступила в редколлегию 05.04.2012

УДК 669.017.16+669.15-198+658.597

О.А. ГЛОТКА, канд. техн. наук, ст. викл., ЗНТУ, Запоріжжя,
А.Д. КОВАЛЬ, докт. техн. наук, проф., ЗНТУ, Запоріжжя,
В.Л. ГРЕШТА, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запоріжжя

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ФЕРОВОЛЬФРАМУ ТА БРУХТУ СИСТЕМИ W-Ni-Fe

Виконано аналіз структурно-фазового стану феровольфраму марки ФВ 80 та брухту системи W-Ni-Fe. Встановлена подібність в морфології структурних складових сплавів, однак в брухті майже відсутні переходні області. Висунуто рекомендації по заміні феровольфраму брухтом для деяких спеціальних матеріалів.

Ключові слова: структурно-фазовий стан, феровольфрам, брухт системи W-Ni-Fe, спеціальні матеріали.

Сделан анализ структурно-фазового состояния ферровольфрама марки ФВ 80 и лома системы W-Ni-Fe. Установлена схожесть в морфологии структурных составляющих сплавов, однако в ломе почти отсутствуют переходные области. Приведены рекомендации по замене ферровольфраму ломом для некоторых специальных материалов.

Ключевые слова: структурно-фазовое состояние, ферровольфрам, лом системы W-Ni-Fe, специальные материалы.

The analysis of a structural and phase fortune ferrotungsten FV 80 brand and a W-Ni-Fe system breakage is made. Similarity in morphology of structural components of alloys is established; however in a breakage almost there are no transitional areas. Recommendations about replacement ferrotungsten by a breakage for some special materials are put out.

Keywords: structural-phase condition, ferrotungsten, system breakage W-Ni-Fe, special materials.

Вступ. В останні роки потреба в спеціальних матеріалах у світі значно зросла. Україна не є винятком, оскільки виробництво складних науково-технічних виробів потребує нових видів сталей і сплавів, з підвищеними властивостями, що досягається використанням складної композиції легувальних елементів.

Одним з таких елементів, що підвищує міцність, твердість, червоностійкість та жароміцність, є вольфрам. Його концентрація в сталях може сягати 20 % (мас.), це призводить до збільшення їх вартості. Виплавляння спеціальних сталей виконують відкритим методом з використанням феровольфраму, оскільки лігатура приводить до покращення розчинності, зменшенню ліквациї та зниженню температури плавлення.

Отже заміна феровольфраму на матеріал меншої вартості є перспективним напрямом вирішення проблеми зниження собівартості спеціальних матеріалів. Одним з таких замінників може слугувати брухт системи W-Ni-Fe, що в своєму складі містить значну частку вольфраму [1]. Таким чином всебічний аналіз структурно-фазового стану вказаних матеріалів є актуальним та перспективним напрямом.

Матеріал і методика дослідження. Хімічний склад феровольфраму марки ФВ 80 відповідав ГОСТ 17293-93, а брухт мав наступне співвідношення елементів: W-7Ni-3Fe [1].

Аналіз мікроструктури виконувався на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І, що оснащений системою енергодисперсійного аналізу, при прискорювальній напрузі 20 кВ у вторинних електронах. Кількісний рентгеноспектральний мікроаналіз виконаний порівнянням отриманих спектrogram з еталонними, які записані в базу комп'ютера від еталонних матеріалів. Точність детектування елементів спектрометром знаходилася на рівні 0,1% (мас.).

Зразки перед випробуванням механічно шліфували, полірували та травили в реактивах Марбль (100 мл HCl, 20 г CuSO₄, 100 мл H₂O) та Муракамі (10 гр NaOH, 10 гр K₃[Fe(SN)₆], 100 мл H₂O) впродовж 5-8 секунд.

Дослідження фазового складу сплавів виконано на дифрактометрі ДРОН-1 у мідному випромінюванні з монохроматизацією дифракційних променів. Природу фаз визначали, порівнюючи експериментальні значення міжплощинних відстаней $d_{hkl} = \frac{d_{hkl}}{n}$ із табличними даними [2]. Похибка при вимірюванні не перевищувала $1,36 \times 10^{-4}$ нм.

Результати дослідження та їх обговорення. Феровольфрам ФВ 80 виготовляють відновленням порошкових оксидів вольфраму, що обумовлює сферичну морфологію структури (рис. 1).

Однак присутні області з яскраво вираженим пластинчастим характером. Всі структурні складові відрізняються за інтенсивністю забарвлення, що може свідчити про зміну хімічного складу фаз. Проведення рентгеноспектральних досліджень виявило, що сферичні вкраплення, які мають найбільшу яскравість, містять 99-100% (мас.) вольфраму. Примежові переходні зони мають поступове підвищення кількості заліза з 20 до 25 % (мас.). Матриця, що має

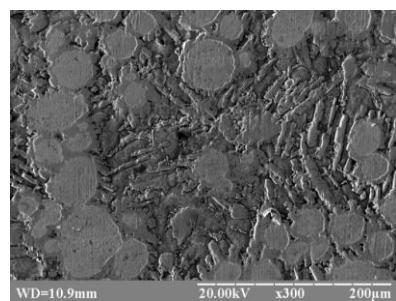


Рис. 1 Мікроструктура феровольфраму ФВ 80

найтемніше забарвлення, містить найбільшу частку заліза (35-40% (мас.)). Таке розподілення хімічних елементів приводе до утворення наступного фазового складу: а- твердий розчин на основі вольфраму, а- твердий розчин на основі заліза та інтерметаліди Fe_2W і Fe_7W_6 . Такий структурно-фазовий стан є оптимальним для використання при виплавлянні, оскільки зони з найбільшим вмістом заліза будуть плавитися в першу чергу, що приведе до подрібнення матеріалу і збільшенню інтенсивності розчинення.

Мікроструктура брухту системи W-Ni-Fe подібна до структури феровольфраму ФВ 80. Спостерігаються сферичні вкраплення інтенсивного кольору, що обмежуються областями меншої інтенсивності, перехідна зона майже не виявляється (рис.2). Відсутність перехідної зони, від сферичних вкраплень до матриці, обумовлено технологією отримання брухту [3].

Хімічний склад сферичних вкраплень відповідає

100 %(мас.) вольфраму, тобто подібний до феровольфраму. А матриця значно відрізняється від ФВ 80, вона містить 60Ni-27Fe-W. Фазовий склад містить а-твердий розчин на основі вольфраму, γ - твердий розчин на основі нікелю, ізоструктурні фази (Fe, Ni)W та фазу Ni_4W . Такий розподіл хімічних елементів та фаз по об'єму матеріалу є подібний до феровольфраму та наближається до оптимального для матеріалів, що використовуються для введення легуючих елементів при виплавлянні. Однак великий вміст нікелю є негативним для деяких спеціальних матеріалів, особливо для швидкорізальних сталей. Хоча існує ряд сталей, що працюють при динамічних навантаженнях і в які свідомо вводять нікель. Додаткове легування нікелем, що потрапляє в сталь разом з брухтом, також буде приводити до зниження собівартості виробництва.

Висновки. Таким чином, аналіз структурно-фазового стану матеріалів, дає змогу стверджувати про деяку подібність в морфології та розподілу хімічних елементів по перетину. Однак виявлена значна розбіжність в фазовому складі, що викликана присутністю нікелю в брухті та технологією його виробництва.

Рекомендовано до використання брухт системи W-Ni-Fe при виробництві спеціальних матеріалів, що містять у своєму складі нікель, як замінник стандартному сплаву ФВ 80.

Список літератури: 1. Глотка О.А. Дослідження важкотопкого брухту, що містить вольфрам / О.А.Глотка, А.Д.Коваль, Л.П.Степанова // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007.- №1. – С. 17 – 20. 2. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному аналізу. – М. Металлургия, 1978. – 678 с. 3. Глотка О.А. Природа важкотопкого брухту та встановлення закономірностей розподілу хімічних елементів по фазовим складовим / О.А. Глотка, А.Д. Коваль, В.Л. Греєшта// Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.-2011.-№2.-С. 45-51.

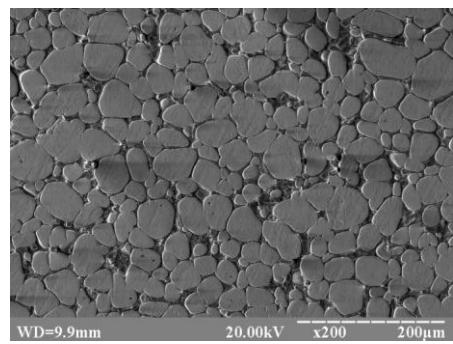


Рис. 2 Мікроструктура брухту системи W-Ni-Fe

Поступила в редколегію 20.04.2012

Ф.Г. ФАБУЛЯК, докт.хім.наук, проф., НАУ, Київ,
Л.Д. МАСЛЕННИКОВА, проф., НАУ, Київ,
К.С. НЕДАЙХЛІБ, студ., НАУ, Київ

ВПЛИВ МОДИФІКОВАНОГО КАОЛІНУ НА МОЛЕКУЛЯРНУ РУХЛИВІСТЬ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ПОЛІІЗОПРЕНУ

Наведені результати досліджень молекулярної рухливості поліізопрену в натуральному латексі модифікованого кальцинованим каоліном. Встановлено, що в разі додавання модифікатора до 50 %, поліізопрен пластифікується з одночасним збільшенням електропровідності в полімерній системі.

Ключові слова: НК-натуральний каучук, кальцинований каолін, $\text{tg}\delta$, модифікатор.

Приведены результаты исследований молекулярной подвижности полиизопрена в латексе модифицированного кальцинированным каолином. Установлено, что в случае добавления модификатора до 50%, полиизопрен пластифицируется с одновременным увеличением электропроводности в полимерной системе.

Ключевые слова: НК-натуральный каучук, кальцинированный каолин, $\text{tg}\delta$, модификатор.

The results of studies of molecular mobility of polyisoprene in natural rubber latex modified calcined kaolin. Found that when adding a modifier to 50% observe softening of rubber with a simultaneous increase in electrical conductivity in polymer systems.

Keywords: NR-natural rubber, calcined kaolin, $\text{tg}\delta$, modifier.

1. Вступ

Серед матеріалів, основу яких складають полімери, латекси займають одне з місць за кількістю можливих областей використання[1]. При застосуванні латексів можуть вирішуватися проблеми покращення якості виробів та матеріалів (промочені латексами папір та шинний корд, апретовано латексами килими), екологічні проблеми (вилучення токсичних, пожежовибухонебезпечних розчинників при виготовленні та застосуванні адгезивів, фарб, покриттів), проблеми охорони праці і техніки безпеки (виробництво захисних рукавиць). Із застосуванням латексів виготовляють вироби, які неможливо і нераціонально виробляти із інших матеріалів (наприклад радіозондні оболонки).

Метою даної роботи є дослідження молекулярної рухливості і електропровідності поліізопрену в натуральному латексі за допомогою експериментального визначення діелектричної релаксації і електропровідності.

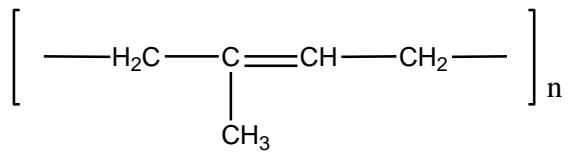
У зв'язку із поставленою метою можна сформулювати такі завдання дослідів:

1. Експериментально визначити $\text{tg}\delta$ модифікованого натурального латексу в залежності від частоти.
2. На основі експериментальних даних побудувати криві залежності $\text{tg}\delta$ від частоти, і залежності електропровідності від частоти.
3. Дослідити зміну структури поліізопрену в латексі.

2. Матеріали дослідження

2.1. Склад і будова натурального каучуку

Натуральний (природний) каучук (НК) є високомолекулярним неграничним вуглеводнем, молекули якого містять велику кількість подвійних зв'язків; склад його може бути виражений формулою:



Природний каучук міститься в молочному соку каучуконосних рослин, головним чином, тропічних [1].

Довгу молекулу каучуку можна було б спостерігати безпосередньо за допомогою сучасних мікроскопів, але це не вдається, оскільки ланцюжок дуже тонкий.

Ланки молекули каучуку можуть обертатися не безперешкодно в будь-якому напрямі, а обмежено - тільки навколо одинарних зв'язків. Теплові коливання ланок примушують молекулу згинатися, при цьому кінці її в спокійному стані зближують.

При розтягуванні каучуку кінці молекул розсуються і молекули орієнтуються по напряму розтягуючого зусилля. Якщо усунути зусилля, розтягування каучуку, що викликало, то кінці його молекул знов зближуються і зразок приймає первинну форму і розміри.

Молекулу каучуку можна уявити собі як круглу, незамкнуту пружину, яку можна сильно розтягнути, розвівши її кінці. Звільнена пружина знов приймає колишнє положення. Деякі дослідники представляють молекулу каучуку у вигляді пружинячої спіралі.

Якісний аналіз показує, що каучук складається з двох елементів - вуглецю і водню, тобто, відноситься до класу вуглеводнів.

Спочатку прийнята формула каучуку була C_5H_8 , але вона дуже проста для такої складної речовини як каучук. Визначення молекулярної маси показує, що вона досягає декількох стільників тисяч (150 000 - 500 000).

Молекула натурального каучуку складається з декількох тисяч початкових хімічних груп (ланок), сполучених один з одним і що знаходяться в безперервному коливально-обертальному русі. Така молекула схожа на спутаний клубок, в якому складові його нитки місцями утворюють правильно орієнтовані ділянки.

Основний продукт розкладання каучуку - вуглеводень, молекулярна формула якого однозначна з найпростішою формулою каучуку. Це ізопрен (2-метил-1,3-бутадієн).

Можна вважати, що макромолекули каучуку утворені молекулами ізопрена.

Молекули каучуку, хоча і мають лінійну будову, не витягнуті в лінію, а багато разів зігнуті, як би згорнуті в клубки. При розтяганні каучуку такі молекули розпрямляються, зразок каучуку від цього стає довшим.

При знятті навантаження, унаслідок внутрішнього теплового руху, ланки молекули повертаються в колишній згорнутий стан, розміри каучуку скорочуються. Якщо ж каучук розтягувати з достатньо великою силою, то

відбудеться не тільки випрямлення молекул, але і зсув їх щодо один одного - зразок каучуку може порватися.

2.2. Склад та будова кальцинованого каоліну

Кальцинований каолін являє собою дисперсну систему, в якій дисперсною фазою служать вапняк, глина та добавки, а дисперсійним середовищем є - вода[2]. Тверда фаза є полідисперсним матеріалом, розмір частинок якої змінюється від 3 до 200 мкм. Найбільш грубодисперсні є зерна вапняку, кварцу, польових шпатів, а дрібнодисперсними - глинисті мінерали, гідроксиди алюмінію і заліза. Загальний вміст твердої фази коливається в каоліні від 35 до 50%. Такі каоліни можуть розглядатися як колоїдні системи. Як кожна колоїдна система, кальцинований каолін характеризуються певними структурно-механічними властивостями - в'язкістю, граничним напруженням зсуву і здатні до коагуляції або пептизації. Ці властивості змінюються в залежності від заряду частинок, їх дисперсності, наявності обмінних іонів. Стійкості дисперсних систем сприяє електричний заряд частинок. Електричне стан колоїдної частинки залежить від зв'язаного з нею електричного заряду і дифузної іонної сфери, що складається з іонів, що мають протилежний заряд. Заряд поверхневого шару частинок залежить від ступеня ненасиченості зв'язків в поверхневому шарі і від ізоморфного заміщення іонів в решітці сторонніми іонами. Ізоморфні заміщення кремнію на алюміній і алюмінію на магній, характерні для глинистих мінералів, призводять до того, що на поверхні часток з'являється незкомпенсований негативний заряд, причому цей заряд, як правило, зосереджується на спайних площинах. Заряд частинок $\text{Al}(\text{OH})_3$ і $\text{Fe}(\text{OH})_3$ залежить від pH середовища. У кислому середовищі ці частинки заряджені позитивно, в лужному - негативно. На рис.1 наведена колоїдна структура кальцинованого каоліну.

Завдяки наявності на поверхні частинок електричних зарядів, вони сорбують з навколошнього середовища катіони і аніони. Такі іони утримуються недостатньо міцно і легко обмінюються. Найбільшу здатність до іонного обміну мають глинисті мінерали. Кількісний іонний обмін характеризується ємністю обміну, визначається в міліграм - еквівалентах на 100 г сухої речовини. Ємність обміну залежить від природи глинистого мінералу і дисперсності часток. Найбільшою ємністю володіють монтморілонітові глини, найменшою - каолініт і галуазіт, так як у монтморілоніта, завдяки ізоморфним заміщенням, сорбуючі катіони розташовуються на гранях кристала, а в каолініті і галуазіті, де таких заміщень немає, тільки по краях.

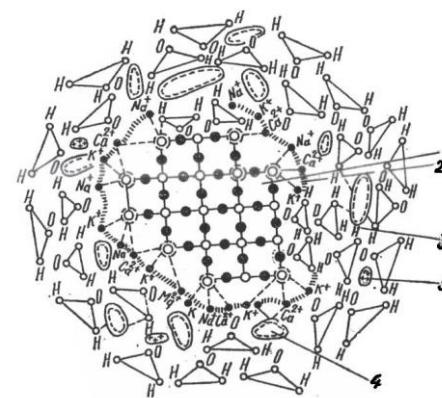
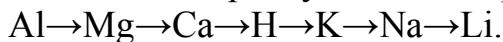


Рис.1. Колоїдна структура кальцинованого каоліну: 1-ядро; 2- адсорбційний шар; 3- дифузійний шар; 4- негативно заряджена глиніна частинка; 5- позитивно заряджені частинки гідроксиду алюмінію.

Крім того, монтморілоніт характеризуються меншим розміром часток, що також збільшує ємність обміну.

Заміщаюча здатність іонів зростає зі збільшенням заряду і з ростом розміру іона.

Катіони в порядку їх заміни розташовуються в наступний ряд:



Крім адсорбованих іонів частки утримують біля себе шар адсорбційної води, яка знаходиться в іншому фізичному стані, ніж крапельно – рідка вода. Товщина такого шару води становить 4 – 40 молекулярних шарів, далі йде так називаний дифузійний шар, який представляє собою рихлозв'язану воду, а потім незв'язана вода. Чим більше структурованої води в системі, тим більше взаємодія між частинками.

3.Методи дослідження

Дослідження проводилось на приладі – міст змінного струму Р-5083, вимірювання тангенса кута діелектричних втрат - за методом діелектричної релаксаційної спектроскопії.

За величиною питомої електричної провідності χ ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) або зворотній їй величині питомого опору ρ ($\text{Ом} \cdot \text{см}$) полімери можуть бути провідниками ($\rho = 10^3\text{-}10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$), напівпровідниками ($\rho = 10^3\text{-}10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) або діелектриками ($\rho > 10^3 \text{ - } 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). Полімери є матеріалами з дуже важливими діелектричними (ізоляючими) властивостями. Діелектричні властивості полімерів характеризуються питомим об'ємом ρ_k і питомим поверхневим опором ρ_s , електричною міцністю, діелектричною проникністю і рівнем діелектричних втрат.

Діелектрична проникність ϵ' дорівнює відношенню ємності конденсатора, заповненого діелектриком (c), до ємності конденсатора, пластини якого розділені вакуумом (c_0):

$$\epsilon' = \frac{C}{C_0}$$

Збільшення ємності конденсатора, заповненого діелектриком, обумовлене утворенням в його об'ємі під дією зовнішнього електричного поля електричного (дипольного) моменту, направленого вздовж поля. Цей момент дорівнює геометричній сумі моментів полів молекул діелектрика. Постійні або наведені диполі молекул створюють електричний момент, що називається моментом диполя μ . Постійний момент диполя, тобто той, що існує і за відсутності зовнішнього електричного поля μ_0 , для низькомолекулярних молекул рівний:

$$\mu_0 = ql$$

де q - величина заряду; l - відстань між розділеними позитивним і негативним зарядами (довжина диполя).

Кількісно діелектричні втрати характеризуються тангенсом кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$, який чисельно дорівнює відношенню активної складової струму, що проходить через конденсатор, заповнений діелектриком (в даному випадку полімером), при прикладанні змінного поля I_a до ємкісної або реактивної I_c :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{\epsilon'}{\epsilon''}$$

де ε'' - коефіцієнт діелектричних втрат. У свою чергу, і ε'' пов'язані співвідношенням:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$$

де $i = \sqrt{-1}$ Величина ε^* називається узагальненою діелектричною проникністю.

4.Релаксаційна поведінка поліізопрену в присутності кальцинованого каоліну

Аналіз діелектричних втрат базується на розгляді процесів релаксації малих кінетичних одиниць при високих частотах і великих релаксаторів при малих частотних впливах[3]. Досліджували поліізопрен в присутності модифікатора – кальцинованого каоліна. Вміст модифікатора в полімері наведено в табл.1.

Таблиця 1. Вміст модифікатора в полімері

Склад	1	2	3	4	5	6
НК,г	10	10	10	10	10	10
Кальцинований каолін,г	-	1	2	3	4	5

Результати діелектричних досліджень немодифікованого НК показані на рис.2 (ряд 1) наявність двох процесів, малих кінетичних одиниць при 72 кГц і 88 кГц, які можна віднести до дипольно - групових процесів релаксації, при чому слідує відмітити, що максимуми, що проявляються по величині, однакові. При частоті 33 кГц проявляється тільки один невеликий максимум, який можна віднести до дипольно-сегментальному процесу релаксації.

При вмісту модифікатора в полімерній системі 10 % (ряд 2) спостерігається 3 процеси релаксації. Раніше віднесений до дипольно – сегментальному процес значно змінився. На даному графіку максимум вже проявляється в області 10 кГц, що вказує про значне збільшення жорсткості полімерної системи, в результаті чого можна очікувати збільшення рухливості дипольно-групових процесів релаксації, но рухливість збільшується тільки одного з двох релаксаторів, а в іншого значно зменшується.

При подальшому збільшенні концентрації кальцинованого каоліну 20% в системі установлені чотири процеси релаксації (рис.2, ряд 3). Вже відомі дипольно – групові процеси релаксації з'являються в області 60 кГц і 75 кГц, що вказує на подальшу жорсткість системи. В то й же час з'явившись додатково в області 50 кГц максимум і зміщений максимум з області 33 кГц в область 25 кГц, який вказує на дипольно - сегментальну рухливість в полімері, дають можливість припустити, що полімерна система в цілому пластикувалася, що в

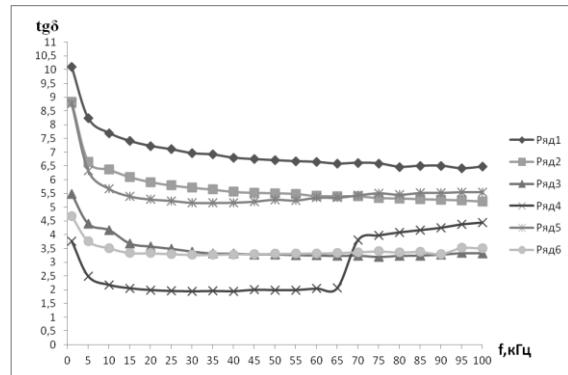


Рис.2. Залежність зміни $\text{tg}\delta$ від частоти в модифікованому НК

свою чергу підтверджується даними з електропровідності системи (рис.3,ряд 3), можна припустити, що електропровідність проявляється за рахунок дипольних взаємодій між малими кінетичними одиницями.

Модифікування НК до 30% (рис.3,ряд 4) призвело до значної зміни в характері протікання кривої . При повній відсутності дипольно-сигментальної рухливості спостерігається різкий скачок прояву максимума в області 70 кГц і незначний максимум в області 45 кГц. Це вказує на хорошу провідність системи за рахунок взаємодії релаксаторів з модифікованим наповнювачем. Дослідження електропровідності системи підтвердили скачок стану(рис.3,ряд 4).

При збільшенні в системі модифікатора до 40 % (рис.2,ряд 5) помітно змінились процеси релаксації. Всі три дипольно – групові процеси змістилися в область високих частот, а дипольно – сегментальний в область низьких частот. Це вказує на те, що модифікатор в цілому робить жорсткою систему, що в свою чергу призвело до збільшення рухливості малих релаксаторів, що підтверджується результатами дослідження електропровідності (рис.2,ряд 5)

найбільший прояв електропровідності спостерігається при 95 кГц і невеликий при 85 кГц, що в свою чергу вказує на те, що найбільшу провідність мають тільки кінетичні одиниці, які проявляються тільки в НК (рис.3,ряд 5).

Розглядаючи криву вміст модифікатора 50% (рис.2,ряд 6) можна відмітити, що великі релаксатори мають свої центри провідності (максимум області при 10 кГц), і малі релаксатори в свою чергу володіють невеликою провідністю (70 кГц і 95 кГц) (рис.3,ряд 6).

Таким чином можна прийти до висновку, що модифікація натурального поліізопрену кальцинованим каоліном призводить до пластифікації полімеру і одночасному збільшенні його електропровідності.

Список літератури: 1.Кошелев Ф.Ф.,Корнев А.Е., Буканов Л.М. Общая технология резины.- М.:Химия,1978-527 с. 2. Пашенко А.А., Сербин В.П, Старчевская Е.А. Вяжущие материалы-К.:Вища школа,1975.- 440 с. 3. Фабуляк Ф.Г. Молекулярное тепловое движение в поверхностных слоях полимеров.-К.:Наук.думка,1991.-304 с.

Поступила в редколлегию 05.04.2012

УДК 621.317

A.A. НЕСТЕР, канд. техн. наук, доц., ХНУ, Хмельницкий,
С.П. ДЕМЧИК, канд .фiz.-мат. наук., доц., РГГУ, Ровно

МОДЕЛЬ ФІЛЬТРОВАННЯ

В статті розглядаються питання моделювання процесів фільтрації розчинів травлення друкованих плат. Створення моделі передбачає подальші роботи зі створення автоматизованих

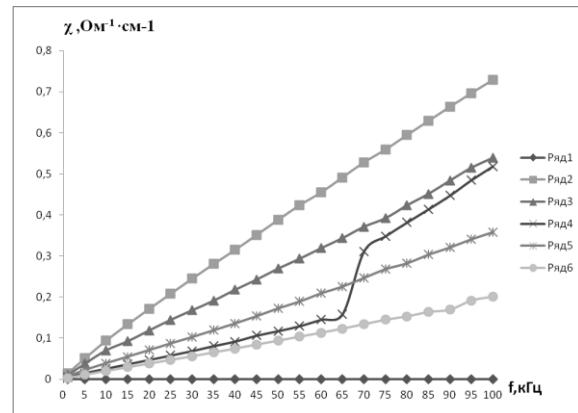


Рис.3. Залежність χ від частоти в модифікований НК

ліній травлення, що базуються на математичному описі процесів фільтрування відпрацьованих розчинів.

В статье рассматриваются вопросы моделирования процессов фильтрации растворов травления печатных плат. Создание модели предполагает дальнейшие работы по созданию автоматизированных линий травления, базирующихся на математическом описании процессов фильтрования отработанных растворов.

The paper represents modeling filtration processes of etching solutions used for printed circuit boards. Creating model assumes further developing automatic etching lines basing on mathematical description of processes for filtrating used solutions.

Вступ. При восстановлении водных растворов травления печатных плат и создании замкнутых процессов использования водных ресурсов, необходимо постоянное фильтрование растворов [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Анализ патентной и научно-технической литературы показал, что вопросами фильтрования отработанных водных растворов вплотную не занимаются.

Постановка завдання: Учитывая существующее положение на предприятиях целесообразно создание локальных замкнутых систем водного хозяйства работающих в автоматическом режиме [2].

Виклад досліджень: Во время эксплуатации установок восстановления через 1-1.5 месяца работы в травильном модуле накапливается грязь, влекущая к необходимости фильтрования растворов.

В реальных технологических условиях концентрация примесных частичек в жидкостях, которые фильтруются, в большинстве случаев есть сменной детерминированной или стохастической. Тем не менее, при моделировании процессов фильтрования через пористые среды традиционно принято считать, что она постоянная. Неточность соответствующих расчетов, проведенных в рамках основных математических моделей теории фильтрования Шехтмана относительно процессов фильтрования жидкостей со сменной концентрацией примесей в большинстве случаев приводит к значительным материальным потерям.

Движение зависших в порах загрузки примесных частичек, формирование и разрушение осадка есть чрезвычайно сложными процессами, эволюция которых определяется большим количеством взаимозависимых факторов[1, 2]. Единичные попытки адекватно учесть совместное действие даже некоторых из этих факторов, не дают удовлетворительных результатов. В связи с этим наиболее перспективным методом описания процессов фильтрования через пористые среды нужно считать статистическое моделирование. Доказательством этому, служит тот факт, что некоторые наиболее известные математические модели фильтрования, при обосновании которых не говорилось о стохастических закономерностях массопереноса, по сути являются стохастическими.

Система модельных уравнений Минца имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = bvC - a\rho \quad (2)$$

$$C|_{x=0} = C_0 = \text{const}, \rho|_{t=0} = 0. \quad (3)$$

где t - время фильтрования; x - координата по высоте загрузки ($x=0$ отвечает входному пересечению); $C(x,t)$ – массовая концентрация зависящих в порах загрузки примесных частиц твердой фазы суспензии; $\rho(x,t)$ - плотность насыщения загрузки осадком; $v = \text{const}$ - скорость фильтрования; a, b – параметры фильтрования (постоянные).

Уравнение (1) является уравнением материального баланса. Уравнение (2) - уравнение кинетики фильтрования, которое выражает тот факт, что скорость изменения плотности насыщения загрузки осадком определяется конкуренцией процессов захвата и отрыва частиц. Выходная суспензия и осадок, который образовывается считаются монодисперсными.

Словом в модели Минца, так как и в ее прототипе, из теории сорбции, неявно постулируется пуассонов закон процессов захвата и отрыва частиц. Причем, в процессе захвата роль времени выполняет координата x . Соответственно параметры b и a – это среднее число примесных частиц, которые захватываются при прохождении единичного пути в загрузке и среднее число частиц осадка, которые отрываются за единицу времени.

Данный вывод приводит к необходимости тщательного анализа решений рассматриваемой модели (1)-(3) с точки зрения их статистического содержания. Действительно в специальной литературе рассматривается более общий, чем система (1)-(3) случай:

$$\frac{\rho}{\rho_*} = ae^{-bx-at} \int_0^t I_0(\sqrt{abx}(-\eta)) e^{a\eta} d\eta \quad (4)$$

Здесь I_0 - модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка от мысленного аргумента.

Выполняя замену сменной и проводя соответствующие переобозначения, сведем выражение (5) к виду

$$\frac{\rho}{\rho_*} = \frac{1}{\sigma^2} \int_0^{2\sqrt{abxt}} ye^{-\frac{y^2+\alpha^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{\alpha y}{\sigma^2}\right) dy = F(\sqrt{abxt}) \quad (5)$$

где $\alpha = \sigma^2 = 2bx$; F – интегральная функция распределения Релея-Райса или вероятность того, что модуль радиус-вектора, компоненты которого независимые и распределенные по нормальному закону с параметрами $(a_1, \sigma), (b_1, \sigma)$, не превышает величины $2\sqrt{abxt}$; a_1, b_1 – средние значения проекции радиус-вектора на оси x и t ; σ^2 - дисперсия; $\alpha = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$.

Таким образом, несмотря на то, что при обосновании выбора системы модельных уравнений (1)-(3) ничего не говорилось о стохастической природе процессов, которые происходят в фильтрах, все же таки она проявилась в точном совпадении относительной плотности ρ/ρ_* с интегральной функцией известного распределения.

В дальнейшем логически предположить возможность преобразования системы модельных уравнений Минца к виду, который разрешает сравнить их с

известными в статистической физике уравнениями. Действительно, систему (1), (2) можно свести к следующим уравнениям

$$\rho_t = -a\rho + ab \int_0^x \rho \mathcal{C}'(t) e^{b(\mathcal{C}-x)} dx + b\nu C_0 e^{-bx}, \quad (6)$$

$$0 = -\nu \frac{\partial C}{\partial x} - b\nu C + ab \int_0^t C(t) e^{a(\mathcal{C}-t)} dt. \quad (7)$$

Данные уравнения являются уравнениями Колмогорова-Феллера, в которых: концентрации C и ρ - это проинтегрированные по возможным состояниям примесных частиц и частиц осадка плотности вероятностей перехода; состояния частиц - координаты x и x' и времена t и τ ; b и a - плотности вероятностей скачкообразного изменения состояния частиц в следствие их захвата и отрыва соответственно $be^{b(\mathcal{C}-x)}$, $\frac{a}{\nu}e^{a(\tau-t)}$ - плотности условных вероятностей перехода частиц осадка из состояния x' в x и примесных частиц из τ в t при наличии прыжка. Уравнение (6), (7) отображают баланс массы осадка и зависших в порах загрузки примесных частиц в выделенном в окрестности пересечения x элементарном объеме. А именно, член ρ_t в уравнении (6) – это скорость изменения плотности насыщения загрузки осадком в момент времени t . Она равняется разности скорости захвата в элементарном объеме частиц, которые оторвались в пересечении x' (интегральный член) и скорости отрыва частиц осадка (член $a\rho$) плюс скорость захвата частиц, который определяется действием источника, размещенного в том же объеме и эквивалентного действия источника примесных частиц на входе фильтра (член, который содержит C_0).

Интерпретация уравнения (7) аналогичная. Член $-\nu \frac{\partial C}{\partial x}$ описывает скорость изменения систематического потока νC . Член $b\nu C$ - это скорость захвата примесных частиц. Рост концентрации C в данном объеме за счет зависших примесных частиц, которые попали к нему в момент времени τ и остались в зависшем состоянии по крайней мере к моменту времени t . Соответственно, интегральный член равняется скорости вследствие чего их концентрация в выделенном элементарном объеме (в пересечении x) уменьшается отрыв частиц осадка в момент времени t , захваченный в момент τ .

Висновки: Таким образом, проведенный анализ показал, что основная математическая модель процессов фильтрования через пористые среды - модель Минца есть стохастической. Тот факт, что модель Минца сводится к уравнениям Колмогорова-Феллера однозначно указывает на принцип и форму введения обобщенных стохастических уравнений процессов фильтрования через пористые среды, которые учитывают все их основные особенности. Учитывая изложенное, можно прогнозировать исследования по фильтрованию, а не ждать установления численных соотношений для строгого обоснования обобщенных уравнений.

Список литературы: 1. Виговська Т.В. Отходы как факторы экологической опасности/ Т.В. Виговська // Вестник ТУП. -2002. -№4. -ч.3. -С.153-158. 2. Гибкие автоматизированные

Поступила в редколлегию 01.04.2012

УДК 535.62

В.А. ПАРХОМЧУК, асп., асис., НТУУ «КПІ», Київ,
Б.О. ЯХНО, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ», Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНІ І ГУСТИНИ ЗРОШЕННЯ ПЛІВКИ, ЯКА СТІКАЄ ПІД ДІЄЮ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИЛ, НА КОНІЧНИХ ПОВЕРХНЯХ

Розглянуто стенд для вивчення течії рідинної плівки по профільованим поверхням. Представлені профільовані конічні поверхні, по яким стікає рідинна плівка.

Ключові слова: конічна поверхня, рідинна плівка, профільована поверхня.

Рассмотрен стенд для изучения течения жидкостной пленки по профицированным поверхностям. Представлены профилированные конические поверхности, по которым стекает жидкостная пленка.

Ключевые слова: коническая поверхность, жидкостная пленка, профилированная поверхность.

The stand for the study of stream of liquid film on the profile surfaces is considered. The researches of flow down film of liquid on the cone surface are resulted.

Keywords: conical surface, liquid tape, profiled surface.

1. Вступ

В технологічних процесах, пов'язаних з інтенсифікацією масо- і теплообміну, в апаратах для випарювання рідини, при очищенні рідин і газів все ширше використовуються течії в тонких рідинних шарах. Використання таких течій в багатьох випадках підвищує ефективність роботи обладнання, його економічність, екологічну чистоту. Практичний досвід показує, що коло проблем, які відносяться до течій рідинних плівок по твердим поверхням, надзвичайно широкий і містить в собі течії різного типу рідин по вертикальним, нахиленим, циліндричним та іншим типам поверхонь. Формування плівок на таких поверхнях залежить від багатьох факторів: виду розподільчих пристрій, умов на межі контакту рідина – тверда поверхня, рідина – газ. Плівкові течії охоплюють великий комплекс реологічних і гідромеханічних проблем, вирішення якого суттєво підвищило б ефективність виробництва і забезпечило б значний економічний ефект. Цим пояснюється актуальність і великий практичний інтерес до подібного типу проблем. Однією з найактуальніших серед них є проблема течії в'язких і аномально в'язких рідин по конічним поверхням, тобто поверхням з кривизною, що змінюється по довжині, яка, в свою чергу, призводить до появи відмінних від плоскої поверхні ефектів в плівці, підвищену дестабілізацію течії і т.д. Нажаль, на сьогодні ще повністю не вирішенні задачі визначення для даного випадку основних гідродинамічних параметрів в плівці і вплив на них аномалій в'язкості рідини. Відсутні методики розрахунку елементів плівкових апаратів з робочою рідиною у вигляді конуса.

2. Геометричні параметри твердих поверхонь, на яких формується плівкова течія

В досліді використовуються об'ємні тіла, поверхні яких утворені внаслідок руху кривих, які можна описати функцією

$$f(x) = a_0 + a_1 \sin \frac{2\pi x}{\lambda}, \quad (1)$$

де a_0 і $a_1 = \text{const}$ (рис. 1, а), а також функцією

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^k (a_n \cos nS + b_n \sin nS), \quad (2)$$

де $a_n = 2h \frac{S_1}{S} \left(\frac{\sin \pi x}{\pi x} \right) \left(\frac{nS_1}{S} \right)$, $b_n = 0$, $a_0 = \text{const}$ (рис. 1, б), при цьому вони проходять через нерухому точку і перетинають площину, яка знаходиться на відстані по колу.

Розглянемо конічну профільовану поверхню, яка формується кривою, що описується функцією (2), підрахуємо бічну поверхню (рис. 1 в).

$$S_{\text{бічн.}} = \pi b \left(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots + r_{n+1} \right) + \pi h \left(R_1 + r_2 + R_2 + r_3 + R_3 + r_4 + \dots + R_{n+1} \right) + \pi a \left(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_{n+1} \right)$$

Простий розрахунок показує, що при профілюванні поверхні можна збільшити площу контакту в 2 рази. Це покращить процес тепло-масообміну і в кінцевому результаті може привести до зменшення розмірів плівкових апаратів.

3. Стенд

Як відомо, для отримання основних характеристик плівкових течій, необхідних при проектуванні відповідного обладнання, необхідно знати товщину плівки і густину зрошення. Якщо в результаті експериментів вдається знайти залежність між цими величинами і оцінити вплив реологічних властивостей рідини на них, то це дає можливість з достатньою точністю описати плівкову течію. В даному експерименті товщина плівки визначалася в різних перерізах потоку по довжині конічної поверхні.

З метою дослідження товщини плівки на конічній профільованій поверхні, визначення різних характеристик плівкової течії був створений спеціальний стенд. Поставлені завдання досліджень визначили конструкцію стенда. Він був виконаний за схемою замкнутого типу (рис. 2). Робоча рідина з резервуара 6 по всмоктувальному трубопроводу надходила у відцентровий насос 5 і далі подавалася в бак 8. З ємності через розподільний пристрій 2 рідина попадає на поверхню конуса 1 і гравітаційно стикає в секційний збірник 13, звідки попадає в

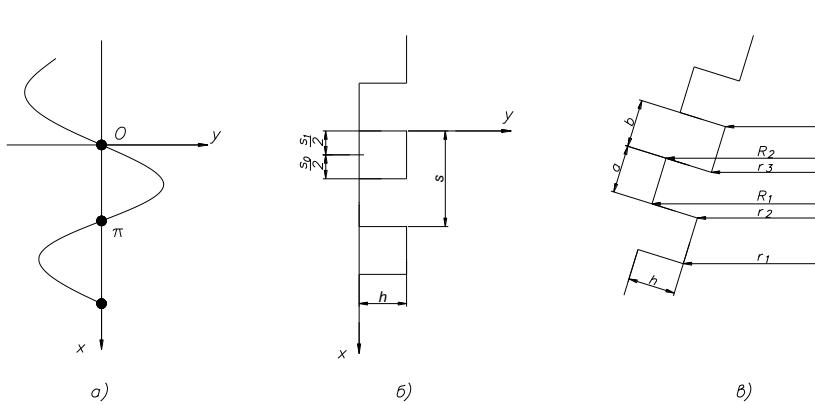


Рис. 1. Форми профільованих поверхонь: а і б - криві, якими формується профільована поверхня, в - розрахункова схема

прийомний резервуар 6. Регулювання витрати рідини здійснюється за допомогою зміни числа обертів двигуна постійного струму насоса й кульовим краном на напірному патрубку насоса.

Для виміру тиску перед розподільним пристроєм використовувався п'єзометр 9 або зразковий манометр.

Розподільний пристрій являє собою змінний конічний або циліндричний насадок, який вкручується у металеву плиту. Для досліджень були виготовлені насадки з різними кутами конусності й з різною довжиною. Регулювання зазору між насадком і конусом здійснюється за допомогою підвіски. Поворот гайки 11 на 360° відповідав вертикальному переміщенню плити на 1 мм. Зазор між

насадком і конусом визначався шляхом опускання або піднімання плити 14. Плита була закріплена на трьох опорах за допомогою щупів. Горизонтальність положення плити контролювалася поплавковим рівнем 4.

В таблиці 1 представлений короткий огляд методів вимірювання товщини плівки. В даній роботі товщина плівки визначалась методом дотику, який являється найпростішим, але отримані результати є достатньо точними. В цьому методі товщина плівки визначалась механічним датчиком з циферблатором 4, що мав волю переміщення уздовж напрямного конуса й навколо його. Товщина плівки реєструвалась, коли вістря голки доторкалося до поверхні плівки. Датчик градуювався перед і після закінчення серії дослідів. Точність виміру товщини плівки становила 0,05 мм. Товщина плівки визначалася уздовж твірного конуса із кроком 5 мм. Температура робочого розчину визначалася за допомогою ртутного термометра з точністю $0,1^\circ\text{C}$.

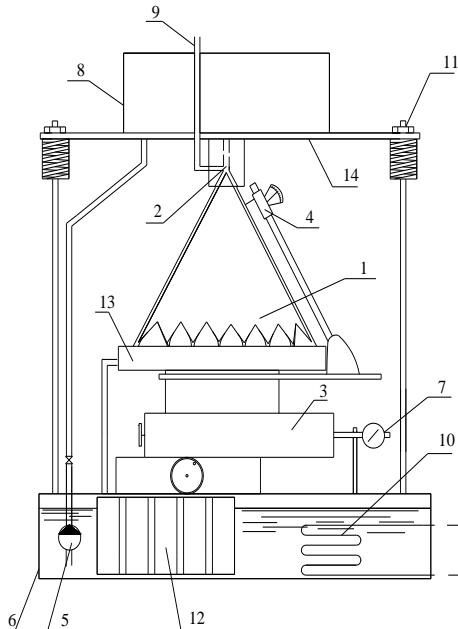


Рис. 2. Схема експериментального стенда: 1 - конус, 2 - розподільний пристрій, 3 - координатний стіл, 4 - електроконтактний вимірювач товщини плівки, 5 - насос, 6 - прийомний резервуар, 7 - секундомір, 8 - бак, 9 - п'єзометр, 10 - теплообмінник, 11 - регулювальна гайка, 12 - батарея мірних циліндрів, 13 - секційний збірник, 14 - плита, 15 - пелюстки

На рис. 3 представлені профільовані конуси, використані в експерименті, на яких формується плівкова течія.

У конструкції стенду передбачено секційний збірник 13, який поділено на 8 рівних секторів; з кожного сектору передбачено дренаж в окремий мірний циліндр 12. Засікаючи час одного експерименту секундоміром 7, можна визначити густину зрошення окремого сектору; на основі цього, змінюючи кут нахилу конуса, можливо зробити оцінку впливу гравітації на плівкову течію, що формується на конічній поверхні.



Рис. 3. Профільовані поверхні, на яких формується плівкова течія

Таблиця 1.Методи визначення товщини плівки

Назва	Сутність методу
Метод дотику	Дотик до поверхні рідини кінчиком голки
Радіоактивних добавок	Вимірюється радіоактивне випромінювання
Поглинання світла	Вимірюється інтенсивність світла яке пройшло через плівку
Електропровідності	Вимірюється електропровідність в залежності від товщини плівки
Ємнісний	Вимірюється електроємність між робочою ділянкою і зондом
Тіньовий	Реєструється тінь плівки яка тече по твердій поверхні

На рис. 4 представлений графік зміни товщини плівки δ по довжині конуса при обтіканні водяного розчину ПВС з реологічними константами $k = 0,121$ і $n = 1,011$. Як видно з графіку товщина плівки навколо твірної конуса залежить від ряду факторів і реологічних властивостей рідини, кутів конусності поверхні, геометричних розмірів розподільного пристрою. З збільшенням кута конусності степінь не лінійності залежності $\delta = f(\psi)$ зменшується.

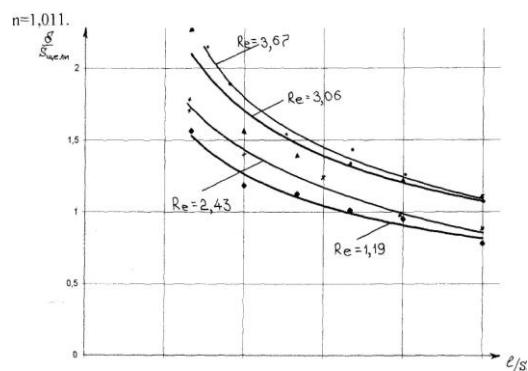


Рис.4. Залежність відносної товщини плівки $\delta / S_{цилін}$ від відносної довжини $l / S_{цилін}$ для ряду значень числа Рейнольдса.

4. Висновки

У такий спосіб на експериментальному стенді представлялася можливість визначати товщину плівки, густину зрошення, витрату через розподільний пристрій, реологічні характеристики робочих рідин.

Список літератури: 1. Буевич, Ю.А. Течение и тепломассообмен в тонкой пленке на волнистой поверхности [Текст] / Ю. А. Буевич, О. В. Кудымов О.В. // Инж. физ. журн. — 1982. — Т.42, №4. — С. 564-573. 2. Воронцов, Е. Г. Экспериментальное исследование гидродинамики и теплоотдачи орошающей пленки жидкости при ее гравитационном течении по вертикальной поверхности теплообмена [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук. — К., 1967. — 26 с.3. Тананайко, Ю. М. Методы расчета и исследования пленочных процессов [Текст] : учеб. / Ю. М. Тананайко, Е. Г. Воронцов; К. : Техника, 1975. — 312 с. 4. Коваленко, В.Ф. Гравітаційна течія аномально в'язких рідин по конічних поверхнях [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : В. Ф. Коваленко; [Нац. Ун-т буд-ва і архіт.]. — К. , 2001. — 20 с.5. Коваленко, В. Ф. О некоторых закономерностях течения жидкостных пленок на конических поверхностях [Текст] / В. Ф. Коваленко, Яхно О. М. // Гидравлика и гидротехника. — 1998. — вып. 59. — с.27-32.

Поступила в редколлегию 01.04.2012

УДК 661.321

В.В. ШМЕЛЬКОВ, асп., НТУ «ХПИ», Харьков,

М.А. ЦЕЙТИН, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков,

В.Ф. РАЙКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков

СОСТАВ КОНДЕНСАТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ГАЗОВ ДИСТИЛЛЯЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СОДЫ

Розглянуто утворення конденсатів в процесах охолоджування газів у виробництві кальцинованої соди. Результати обстеження промислових апаратів покладено в основу одержання формул для розрахунку хімічного складу конденсатів і їх температури залежно від параметрів технологічного режиму.

Рассмотрено образования конденсатов в процессах охлаждения газов в производстве кальцинированной соды. Результаты обследования промышленных аппаратов положены в основу получения формул для расчета химического состава конденсатов и их температуры в зависимости от параметров технологического режима.

Condensates formation in the process of gas cooling in the soda ash production was examined. The results of industrial apparatus survey was used as a basis for obtaining formulas for calculating the chemical composition of the condensates and their temperature in dependence on the parameters of the technological mode.

В производстве кальцинированной соды по аммиачному методу в результате охлаждения технологических газов образуются значительные количества конденсатов, содержащих аммиак и аммонийные соли карбонатной кислоты. Удаление и повторное использование аммиака из этих конденсатов связано со значительными затратами из-за потребления большого количества все дорожающих энергоресурсов. Поэтому актуальным представляется поиск направлений сокращения количества конденсатов и использования оставшихся в производстве без удаления аммиака. Однако решению этих задач должно предшествовать выяснение зависимостей объема и состава образующихся

конденсатов от условий ведения технологического процесса и примененной аппаратуры.

Аммиак-содержащие конденсаты в производстве кальцинированной соды образуются на стадиях дистилляции и кальцинации в процессе охлаждения газов. На стадии дистилляции, вначале, в рекуперативном теплообменнике, носящем название «конденсатор дистилляции» (КДС), охлаждаемый газ передает свою теплоту поступающему на регенерацию маточному раствору, так называемой «фильтровой жидкости» (ФЖ). Затем, газ охлаждается в холодильнике газа дистилляции (ХГДС) водой. На стадии кальцинации, конденсаты образуются в результате охлаждения водой газов, полученных при прокаливании (кальцинации) гидрокарбоната натрия.

Вопросам работы аппаратуры для охлаждения газов дистилляции посвящена обширная литература, из которой следует выделить фундаментальную работу [0], где, в частности, на основании материальных балансов рассчитаны количества конденсатов, образующихся в КДС – 483 кг/т соды и ХГДС – 187 кг/т соды. Что касается конденсатов, образующихся на стадии кальцинации, то их количество в монографии [0] оценено в 484 кг/т соды.

Следует отметить, что все перечисленные данные привязаны к оптимальному технологическому режиму ведения соответствующих процессов и вполне конкретным типам аппаратов, существовавших на момент написания цитированных работ. К сожалению, в силу различных причин режимы работы аппаратов дистилляции и кальцинации часто отличаются от оптимальных. Кроме того, появились новые типы аппаратов и на одном предприятии порой эксплуатируются несколько разных конструкций, выполняющих однотипные задачи. Целью настоящей работы было создание методики расчета химического состава конденсатов на основании параметров технологического режима фиксируемых регламентными средствами контроля процесса.

Такая методика необходима, как для расчета материальных балансов, так и для определения термодинамических характеристик участвующих в процессе потоков, важных при нахождении баланса теплоты. Проблемой для их составления является получение данных о составах образующихся флегм. Дело в том, что расчет состава достаточно громоздкая и сложная процедура, основанная на знании тепло- и массообменных характеристик холодильников. К тому же, учитывая разброс этих характеристик, определяющейся конструкцией аппаратов, сроком их службы и другими трудно учитываемыми факторами, результат получается весьма приблизительным.

Наиболее надежным путем решения задачи расчета состава является обобщение результатов обследования аппаратов установленных на действующих предприятиях содовой промышленности. На содовых заводах Украины и стран СНГ на стадии дистилляции¹ в настоящее время эксплуатируются одинаковые ХГДС, так называемой «бочечной» конструкции [0], и три различных конструкции КДС. Одна из них (наиболее распространенная) аналогична ХГДС и представляет собой горизонтальные пучки труб, размещенные один над другим в

¹ Принятое в содовом производстве название стадии регенерации аммиака из маточной (фильтровой) жидкости, образующейся после отделения от нее на фильтрах продукта – гидрокарбоната натрия.

прямоугольном корпусе (далее для краткости КДС-ТБ). Жидкость движется внутри труб, а газ снаружи перекрестно по отношению к трубам. Вторая конструкция – вертикальный кожухотрубчатый теплообменник с пленочным движением жидкости внутри труб [0] (далее – КДС-ТТ). Третья конструкция (далее – КДС-ТК) принципиально отличается от первых двух тем, что газ охлаждается в аппарате прямого контакта (АПК) циркулирующим конденсатом [0]. Последний, в свою очередь, снижает свою температуру в выносном теплообменнике отдавая теплоту фильтровой жидкости.

Были обобщены результаты обследования всех перечисленных типов аппаратов. Средний состав фильтровой жидкости, поступавшей на стадию дистилляции, и интервалы его варьирования представлен в табл. 1. Как видно из этой таблицы, состав варьировался в относительно узких пределах, что обуславливало и относительное постоянство состава газа дистилляции, а следовательно позволяло предполагать (что и подтвердилось на практике) отсутствие влияния этого фактора на составы флегм.

Таблица 1. Состав фильтровой жидкости

Вещество	Концентрация, кмоль/м ³	Границы изменения	
		нижняя	верхняя
Прямой титр	1,33	1,21	1,46
NH ₃ общий	4,52	4,17	4,79
Cl ⁻	4,31	4,16	4,52
CO ₂	0,902	0,814	0,975

В процессе обследования, в частности, проверялось высказанное в работе [0] предположение о том, что конденсат на выходе из соответствующего холодильника находится в равновесии с поступающим на охлаждение газом при температуре конденсата. Подтверждение справедливости такого предположения позволило бы определять состав по известным [0] данным о равновесии в системе NH₃ – CO₂ – H₂O.

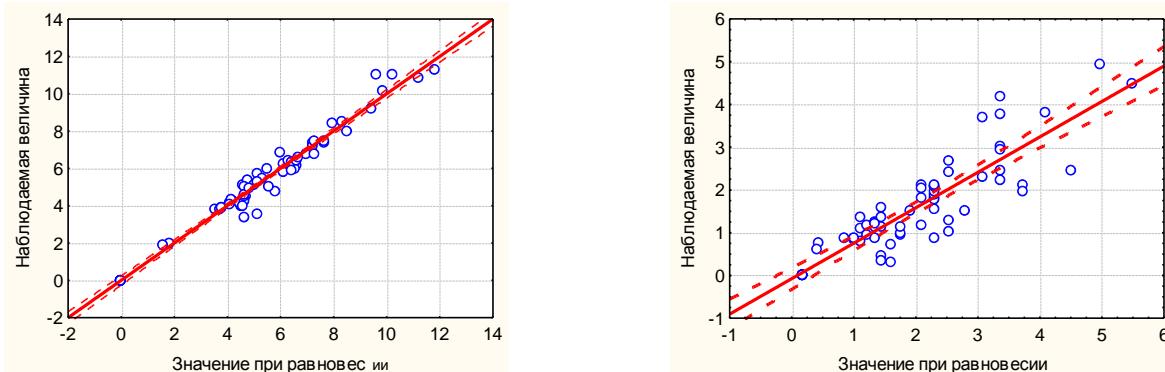


Рис. 1. Корреляция между наблюдаемыми мольными концентрациями (кмоль/м³) аммиака (а) и диоксида углерода (б) во флегме и равновесными их значениями при температуре флегмы.

Указанная проверка проводилась путем нахождения степени корреляции между составом флегмы, определенным по графическим данным о равновесии, и

фактически наблюдаемым ее составам по результатам обследований.

На рис. 1 «а» и «б» приведена такая корреляция в графической форме. Как видно из графика на рис. 1 «а» корреляция между равновесными и наблюдаемыми концентрациями аммиака весьма высока и характеризуется коэффициентом корреляции $R = 0,98$. Корреляция данных по диоксиду углерода заметно хуже ($R = 0,88$), что может быть объяснено, как относительно низкой точностью результатов, получаемых в промышленных экспериментах, так и большей, чем для аммиака, погрешностью определения равновесной концентрации CO_2 в области составов газа, характерных для работы ХГДС и КДС.

Несмотря на разброс точек, они группируются относительно сплошной линии, соответствующей равенству наблюдаемых и равновесных значений концентрации. Таким образом, можно считать, что предположение о том, что конденсат на выходе из соответствующего холодильника находится в равновесии с поступающим на охлаждение газом, можно считать подтвержденным.

Следующей задачей является определение температуры конденсата, зависящей, в основном, от технологического режима работы аппарата и его конструкции. Результаты экспериментального исследования этой зависимости представлены на рис. 2. Из графика видно, что температура конденсата и температура входящего в аппарат газа коррелированы, что легко объяснить конструкцией аппарата. Конденсат и газ в аппарате движутся в противотоке. Поскольку при этом образовавшийся конденсат перед выходом из аппарата контактирует с входящим газом, то в КДС-ТБ и КДС-ТТ температура конденсата

зависит от баланса интенсивности теплообмена с газом с одной стороны, и с фильтровой жидкостью (в КДС) или охлаждающей водой (в ХГДС), с другой. Здесь и далее под теплообменом с газом понимается сумма «сухого» – за счет разности температур, и «мокрого» – за счет теплоты конденсации и абсорбции, теплообмена. В КДС-ТК, где встроенные поверхности охлаждения отсутствуют, температура

конденсата определяется, главным образом, интенсивностью теплообмена с газом и в меньшей степени – температурой охлажденного конденсата, подаваемого на орошение аппарата.

Сказанное можно подтвердить анализом данных, приведенных на рис. 2. Так в КДС-ТБ, где скорость газа, а, следовательно, и интенсивность теплообмена с ним минимальны, температура конденсата (точки 1) при прочих равных также

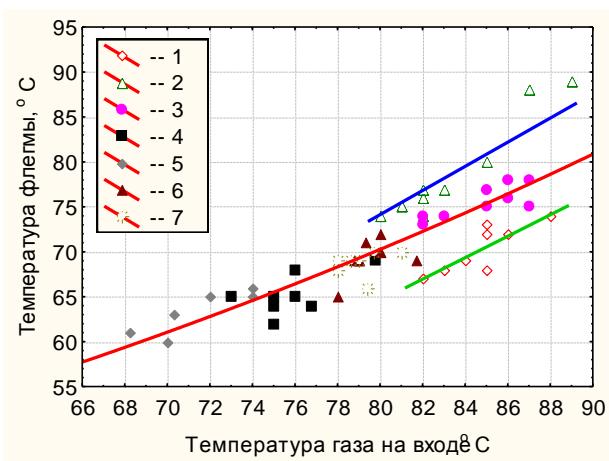


Рис. 2. Зависимость температуры флегмы от температуры газа на входе в аппарат: 1 – КДС-ТБ; 2 – КДС-ТК; 3 – КДС-ТТ; 4 – ХГДС-1; 5 – ХГДС-2; 6 – ХГДС-3; 7 – ХГДС-4.

меньше, чем у других аппаратов. Самая высокая температура конденсата в аппарате КДС-ТК, где, как указывалось, конденсат в процессе взаимодействия с газом не охлаждается.

Что касается ХГДС, то при обследовании четырех этих аппаратов, работавших в разных температурных режимах, значимых различий в зависимости температуры конденсата от температуры поступающего газа не выявлено.

Следует отметить, что в процессе работы было проверено также влияние на температуру конденсата таких факторов, как давление газов, нагрузка аппаратов по фильтровой жидкости и ее состав. Как оказалось, значимая корреляция между этими величинами отсутствует. Что касается отсутствия влияния нагрузки, то полученный результат легко объясняется тем, что ее увеличение ведет к пропорциональной интенсификации теплообмена конденсата, как с газом, так и с охлаждающей жидкостью. Влияние же давления газа и состава фильтровой жидкости, как и ожидалось, не удалось выявить из-за весьма узкого допустимого диапазона варьирования этих факторов в условиях действующего производства.

Экспериментальные данные по зависимости температуры конденсата от температуры охлаждаемого газа в интервале значений последней от 68 до 89 °C были обобщены в виде следующей эмпирического уравнения:

$$t_k = a_0 + a_1 t_g + a_2 t_g^2 \dots \quad (1)$$

где t_k и t_g – температуры конденсата и газа, соответственно, °C.

Значения коэффициентов a_i уравнения (1) и оценки точности приведены в табл. 2. В качестве оценок точности использован коэффициент детерминации (R^2) и среднеквадратическое отклонение (СКО).

Полученные результаты позволяют, зная температуру газа поступающего в аппарат (фиксируется регламентными средствами контроля), найти температуру конденсата, а по ней и составу охлаждаемого газа определить состав конденсата. Для последней процедуры можно использовать диаграммы из монографии [1]. К сожалению, указанная монография является библиографической редкостью. Кроме того, графическое представление не подходит для расчетов с использованием ЭВМ.

Таблица 2. Коэффициенты уравнения

Аппарат	Коэффициенты			Оценки точности	
	a_0	a_1	a_2	R^2	СКО, °C
ХГДС и КДС-ТТ	394	-9,7	0,070	0,91	1,2
КДС-ТБ	-33	1,22	–	0,83	1,5
КДС-ТК	579	-13,6	0,091	0,88	1,3

Известные (см., например [0; 0]) аппроксимации данных о равновесии в системе $\text{NH}_3 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ представляют собой весьма сложные эмпирические формулы, решенные в явной форме относительно концентраций компонентов в газе. Их громоздкость обусловлена стремлением авторов описать всю область существования указанной выше системы. Нас же интересует весьма узкий диапазон концентраций, характерный для аппаратов охлаждения газов содового

производства, а также задача обратная, поставленной в цитированных работах, а именно: определение состава конденсата по температуре и составу газа. Решению этой задачи могут помочь эмпирические зависимости концентрации аммиака и диоксида углерода от параметров, полученные в результате математической обработки результатов обследования аппаратов охлаждения газов дистилляции.

Исследовалось влияние нагрузки аппаратов по фильтровой жидкости, ее состава, давления в аппарате и температуры конденсата на его состав. Оказалось, что значимое влияние на состав конденсата оказывает только его температура. Так, в частности, для мольной концентрации углеаммонийных солей в конденсате в пересчете на диоксид углерода получено следующее уравнение:

$$[\text{CO}_2] = 10^{5081/(273+t_e)-14,6} \quad (2)$$

Оценки точности уравнения (2) в интервале значений температуры конденсата от 60 до 89 °С составляют: $R^2 = 0,91$, СКО = 0,4 моль/дм³

Общая мольная концентрация аммиака в конденсате может быть рассчитана по уравнению

$$[\text{NH}_3] = 11,2 + 1,50 [\text{CO}_2] - 0,112 t_k \quad (3)$$

Оценки точности уравнения (3) в интервале значений температуры конденсата от 60 до 89 °С и концентраций CO₂ от 0,2 до 5 моль/дм³ составляют: $R^2 = 0,96$, СКО = 0,7 моль/дм³

Было также установлено, что мольное отношение концентраций диоксида углерода и аммиака в конденсате также коррелированно с температурой конденсата и может быть рассчитано по формуле

$$[\text{CO}_2] / [\text{NH}_3] = 1,0 - 0,0985 t_k \quad (4)$$

Оценки его точности в том же интервале температур, что и для уравнений (2) и (3) – $R^2 = 0,86$, СКО = 0,03

Результаты исследования позволяют рекомендовать следующую последовательность расчета состава конденсата. Вначале рассчитывается температура флегмы по уравнению (1), затем концентрация диоксида углерода по уравнению (2) и, наконец концентрация аммиака по уравнению (3).

В процессе обследования работы КДС была также найдена зависимость концентрации углеаммонийных солей в пересчете на диоксида углерода в фильтровой жидкости, нагретой в КДС, от ее температуры и состава. Этот показатель, как и все предыдущие важен для расчета материального и теплового баланса КДС.

Как оказалось на эту концентрацию, кроме температуры, влияет также суммарная концентрация в фильтровой жидкости свободного аммиака и аммиака, связанного в углеаммонийные соли. Эта суммарная величина с высокой степенью точности равна общей щелочности жидкости или иначе «прямому титру» (П.Т.). Обработка экспериментальных данных позволила получить следующее уравнение для расчета мольной концентрации CO₂ в фильтровой жидкостью:

$$[\text{CO}_2] = 2,85 + 664/(t_\phi - 301) + 0,544 [\text{П.Т.}]^{0,5}, \quad (1)$$

где t_{ϕ} – температура фильтровой жидкости, °С; [П.Т.] – мольная концентрация общей щелочности фильтровой жидкости, моль/дм³.

В интервале температур фильтровой жидкости от 50 до 80 °С и общей щелочности от 1,1 до 1,6 моль/дм³ коэффициент детерминации уравнения (1) составляет 0,96 и СКО = 0,05 моль/дм³.

Результаты исследования найдут применение в расчетах материальных и тепловых балансов и, в частности, для определения объемов образующихся конденсатов в ряде аппаратов для охлаждения газов и нагрева технологических жидкостей в содовом и смежных производствах.

Список литературы: 1. Микулин Г.И. Дистилляция в производстве соды. / Г.И. Микулин, И.К. Поляков.– М., Л.: Госхимиздат, 1956.– 348 с. 2. Зайцев И.Д. Производство соды./ И.Д. Зайцев, Г.А. Ткач, Н.Д. Стоев.– М.: Химия, 1986.–312 с. 3. Цейтлин М.А. Изучение технологических параметров работы конденсатора дегазации в производстве хлористого аммония. / М.А. Цейтлин, В.А. Турчин, В.П. Чайка // Сб. научн. тр. «Химия и технология производств в содовой промышленности». – Харьков: НИОХИМ, 1983.– Т. 58. – С. 58-62. 4. Цейтлин М.А. Физическое моделирование процессов охлаждения парогазожидкостных систем на сегментных контактных устройствах./ М.А. Цейтлин, А.Т. Гареев, В.Ф. Райко // Сб. научн. тр. «Экология и ресурсосбережение».– Харьков: ХГПУ, 1997.– Т.2.– С. 28-31. 5. Турчин В.А. Изучение технологических параметров работы конденсатора дегазации в производстве хлористого аммония. / В.А Турчин, М.А. Цейтлин, В.П. Чайка // Сб. научн. тр. «Химия и технология производств в содовой промышленности». – Харьков: НИОХИМ, 1983.– Т. 58. – С. 54-57. 6. Ткач Г.А. Моделирование десорбционных процессов содового производства. / Г.А. Ткач, В.Д. Смоляк.– Л.: Химия, 1973.– 208 с.

Поступила в редакцию 04.04.2012

УДК 621.43.056

Г.Б. ВАРЛАМОВ, докт.техн.наук, проф., прорект, НТУ «КПИ», Киев,

Ю.Н. КАМАЕВ, канд.техн.наук, доц., НТУ «КПИ», Киев,

П.О. ПОЗНЯКОВ, асп., инж, НТЦ «ЭКОТЭС», Киев,

Д.Н. ЮРАШЕВ, маг., НТУ «КПИ», Киев

МОДЕРНИЗАЦІЯ ГОРЕЛОЧНОЇ СИСТЕМЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДН80 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРУБЧАТОЙ ТЕХНОЛОГІИ ГАЗОСЖИГАННЯ

Стаття присвячена питанням аналізу процесу розробки і випробувань нової конструкції пальникової системи сучасного вітчизняного газотурбінного двигуна ДН80 на основі трубчастої технології спалювання газу.

Ключові слова: газотурбінний двигун, камера згорання, трубчаста технологія спалювання газу, екологічна безпека

Статья посвящена вопросам анализа процесса разработки и испытаний новой конструкции горелочной системы современного отечественного газотурбинного двигателя ДН80 на основе трубчатой технологии сжигания газа.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, камера сгорания, трубчатая технология сжигания газа, экологическая безопасность

The article is devoted to analyzing the process of developing and testing new designs of modern domestic burner gas turbine engine based on the DN80 tube combustion technologies for gas.

Keywords: gas turbine engine combustion chamber, a tubular gas combustion technology, environment

Введение

Стратегическое направление развития газотурбинной техники ученые связывают с наращиванием единичной мощности с одновременным повышением эффективности и экологической безопасности агрегатов. Особенно это касается развития приводных и транспортных газотурбинных агрегатов [1].

Современные требования к эффективности, надежности и экологичности эксплуатации газотурбинных установок заставляют обратить внимание заводов-производителей этой техники на решение вопросов по совершенствованию газодинамических, тепловых и энергопреобразовательных процессов в камере сгорания, в лопаточных аппаратах турбины, компрессора и в конструкции газотурбинного двигателя (ГТД).

Особое место в решении этих вопросов принадлежит камере сгорания ГТД, в которой происходят интегрированные процессы смесеобразования, сгорания, теплообмена и энергопреобразования.

Отечественные предприятия газотурбинного комплекса (Мотор Сич, ГПНПКГ «Зоря» - «Машпроект» и др.) пытаются реализовать стратегию повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции на отечественный и зарубежный рынки своими собственными силами без привлечения помощи научно-исследовательских институтов и научных подразделений высших учебных заведений.

Политика современных руководителей предприятий газотурбинного комплекса в последнее время претерпела серьезные изменения и направлена, в основном, на получение максимальной прибыли от выпускаемой продукции в максимально короткий срок. При таком подходе финансирование научных разработок считается не рентабельным и сокращается из года в год, а научные кадры переводятся в режим решения срочных проблем технологического и эксплуатационного характера. Таким образом деятельность научных коллективов, научных школ и их преемственность в развитии научно-технического прогресса на данных предприятиях прекращается.

Это приводит к тому, что современные научно-обоснованные и практически реализованные новые уникальные технологии, способные существенно повысить энергетическую эффективность и экологическую безопасность газотурбинной техники не только не внедряются на таких предприятиях, а даже не осмысливаются и не анализируются их преимущества для внедрения.

Вместе с тем, это не может остановить научную пытливость и настойчивость не многочисленных научных школ по разработке современных эффективных технологий, которые еще функционируют в ВУЗах страны.

Примером плодотворного сотрудничества ученых НТУУ «Киевский политехнический институт» и технического отдела по созданию низкоэмиссионных камер сгорания ГТД отечественного предприятия «ГПНПКГ «Зоря» - «Машпроект» с получением положительных результатов может

служить разработка новой горелочной системы современного высокофорсированного газотурбинного двигателя ДН80.

Цель исследований и разработки

Одним из мощных газотурбинных двигателей приводного и энергетического типа является ГТД ДН80, выпуском которого занимается Государственное предприятие «Научно-производственный комплекс газотурбостроения «Зоря» - «Машпроект» » (г. Николаев).

С целью улучшения эксплуатационных, эффективных и экологических показателей, а также уровня надежности и продления межремонтного периода работы двигателя учеными научно-технического центра «Экотехнологии и технологии энергосбережения» НТУУ «КПИ» (НТЦ «ЭКОТЭС») в 2006г. совместно с разработчиками камеры сгорания двигателя ДН80 начаты работы по конструированию и испытанию на стендовом оборудовании нового типа горелочного устройства для камеры сгорания (КС) этого двигателя на основе трубчатой технологии газосжигания (ТТГ), разработанной учеными КПИ [2-6]. Целью разработок являлось улучшение вибрационных и экологических показателей работы КС по сравнению со штатным горелочным устройством [7]. На сегодняшний день разработаны несколько поколений горелочных устройств трубчатого типа (ГУТТ), первые два из которых прошли успешные испытания с получением комплексных положительных результатов [8].

Описание общих условий разработки ГУТТ

В рамках научно-исследовательских работ, проведенных в НТУУ «КПИ» совместно с ГПНПКГ «Зоря» - «Машпроект» в 2006 было разработано и изготовлено первое поколение трубчатого горелочного устройства (рис. 1) для камеры сгорания газотурбинных двигателей ДН80, в котором центральная часть выполнена как дежурная односекционная горелка, а периферийная часть горелочного устройства выполнена трубчатого типа с функцией рабочей горелки.

Горелочное устройство трубчатого типа первого поколения по архитектуре и конструктивному исполнению предполагалось для установки в существующую конструкцию КС. Поэтому конструктивные размеры и конфигурация габаритов, а также расходные характеристики как по воздушному, так и по топливному трактах выдержаны в соответствии со штатной конструкцией камеры сгорания ГТД, а суммарная проходная площадь отверстий газоподачи соответствовала штатной конструкции [7].

Для данной конструкции ГУТТ коэффициент избытка воздуха в зоне горения составил величину около ~1,8. В основу смесеобразования был положен комбинированный принцип образования топливовоздушной смеси. Разработанное горелочное устройство содержит 18 трубчатых модулей в

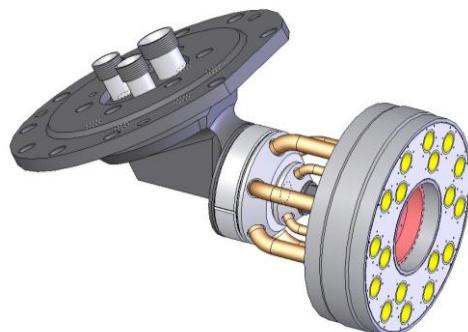


Рис.1. Горелочное устройство трубчатого типа первого поколения для камеры сгорания газотурбинного двигателя ДН80

периферийной части горелки. На каждый трубчатый модуль приходится по три газораздающих отверстия для образования предварительно перемешанной топливовоздушной смеси, и по пять отверстий для диффузионной подачи топлива в зону горения (рис. 1).

Испытания проводились в полноразмерном одногорелочном отсеке камеры сгорания двигателя ДН80 на модельных параметрах.

В результате лабораторных испытаний на горелочных стенах в НТЦ «ЭКОТЕС» НТУУ «КПИ» изучены аэродинамические и тепловые характеристики трубчатых модулей, из которых составлено горелочное устройство трубчатого типа первого поколения, отработан алгоритм подбора характеристик ГУТТ.

На стендовом оборудовании ГПНПКГ «Зоря» - «Машпроект» был изготовлен опытный образец ГУТТ первого поколения и проведены аэродинамические и огневые с получением следующих основных характеристик [8]:

- диффузионный канал топливоподачи обеспечивает устойчивый запуск и работу устройства в диапазоне объемного расхода газа от 0,07 до 0,23 м³/с с высокой полнотой сгорания топлива;

- розжиг ГУТТ на кинетическом канале подачи топлива удалось получить в узком диапазоне объемного расхода газа в районе величины 0,165 м³/с;

- диффузионный канал топливоподачи обеспечивает работу ГУТТ на всех режимах работы во всем диапазоне нагрузки КС, в том числе и на номинальном, и в том числе при подогреве воздуха до величины $\square T = 800$ градусов от значений температуры наружного воздуха;

- на номинальном режиме работы КС при $\square T = 800$ уровень выбросов оксидов азота составлял $EM_{NOx, 15, dry} \square 35 \text{ мг/нм}^3$, а оксида углерода - $EM_{CO, 15, dry} = (10 - 15) \text{ мг/нм}^3$.

- коэффициент гидравлического сопротивления во всем диапазоне рабочих режимов КС составил $\square = 1,7 - 2,1$.

- максимальна относительная неравномерность поля температур продуктов сгорания составила $\varTheta_{max} = 1,20 - 1,16$ и не зависела от режима работы, а зависела только от части топлива подаваемого в диффузионный канал, что соответствует необходимому значению по условию работоспособности турбинной части двигателя.

- коэффициент полноты сгорания топлива составил $\square_x = 0,997$ [8].

В процессе испытаний на стенде завода-изготовителя ГТД ДН80 получены следующие характеристики поля температур продуктов сгорания:

- вертикальна эпюра относительных температур продуктов сгорания имеет максимальное значение ближе к корневому пересечению и составляет величину в пределах $\varTheta_h = 0,8 - 1,11$;

- горизонтальна эпюра на выходе из КС соответствует $\varTheta_b = 0,96 - 1,02$.

Вышеописанная неравномерность соответствует установленным требованиям. В большей степени величина неравномерности обусловлена не процессами, происходящими в зоне горения, а отступлениями при изготовлении опытного горелочного устройства [8] .

Важной отличительной особенностью горелочного устройства трубчатого типа по сравнению со штатным горелочным устройством, является отсутствие пульсационного горения на всех режимах работы.

Обследование трубчатой горелки после цикла испытаний показал, что цвета побежалости металлических поверхностей фронтовой стенки соответствуют прогнозируемому уровню температур в камере в пределах 800-850°C, что соответствует уровню температур, рекомендованных для работы данного класса материалов, из которых изготовлено горелочное устройство.

После проведения испытаний горелочного устройства трубчатого типа первого поколения и анализа полученных результатов стало очевидным, что полного комплексного позитивного эффекта не достигнуто. Системный анализ испытаний на разных каналах топливоподачи позволил выявить «узкое место» в горелочном устройстве – центральная (дежурная) часть горелочного устройства.

Конструктивная особенность центральной части ГУТТ первого поколения, выполненной с использованием штатной системы смесеобразования, создает в зоне горения свою специфическую область, которая по аэродинамическим и тепловым свойствам отличается от периферийной зоны горения, создаваемой трубчатыми элементами. Влияние этой центральной части на аэродинамические процессы периферийной части трудно предсказуемы и требуют сложнейших исследований, которые на стендовом оборудовании трудноосуществимы. Кроме того, доводка центральной части ГУ штатного типа нецелесообразна в связи с получением комплекса положительных характеристик аэродинамического и теплового характера на периферийной части, которая была выполнена на основе трубчатых модулей.

Поэтому было принято решение центральную (дежурную) часть горелки заменить на трубчатые модули (рис.2), т.е. перейти к испытаниям горелочного устройства трубчатого типа второго поколения. Переход на такое конструктивное решение горелки дает возможность унифицировать процессы смесеобразования и ее сгорания как в центральной, так и в периферической частях горелки. Кроме того, создание геометрически симметричного расположения трубчатых элементов по всему поперечному сечению на входе в жаровую трубу позволяет создать идентичные по всему сечению условия смесеобразования и сгорания, что должно способствовать повышению уровня равномерности как скоростных, так и температурных полей во всем объеме жаровой трубы КС.

Основные результаты испытаний

Анализ результатов стендовых испытаний ГУТТ второго поколения (рис.2) в стендовом зале завода-изготовителя, проведенных в 2007...2009гг. свидетельствуют, что предложенное НТУУ «КПИ» новое горелочное устройство трубчатого типа имеет следующие особенности:

- пусковые свойства удовлетворяют требованиям реальной эксплуатации двигателя при запуске и работе на основном диффузионном канале горелки на реальных температурах окружающей среды;
- на всех режимах работы ГУТТ зафиксирована надежная работа в рамках существующих эксплуатационных режимов реального двигателя;

- ГУТТ характеризуется работой с пониженными значениями вибрационных и шумовых характеристик;
- особенно «тихой» работой и «мягким» и бескризисным переходом на разные режимы нагрузки характеризуется диффузионный канал смесеобразования;
- экологические характеристики в диапазоне режимов от холостого хода до 0,8 Ne (80% от номинальной мощности) соответствуют современным требованиям к уровню вредных выбросов в окружающую среду, на режимах выше 0,8 Ne уровень выбросов NOx незначительно превышает уровень выбросов серийной системы горения двигателя ДН80;
- после проведения испытаний не зафиксировано каких-либо негативных изменений, повреждений или отрицательных проявлений в состоянии материала, конструкции и свойств горелочного устройства от воздействия высоких температур, давления и его перепада, аэродинамического и импульсивного характера течений и перехода на различные режимы нагрузки.

Результаты испытаний ГУТТ второго поколения

К итогам испытаний ГУТТ второго поколения необходимо отнести следующие:

- свойства ГУТТ, в основном, соответствуют всем требованиям, которые предъявляются к горелочным системам газотурбинных двигателей;
- с целью достижения низких значений эмиссии NOx на уровне мировых достижений необходимо проведение дополнительных научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по снижению уровня выбросов NOx на режимах выше 0,8 Ne;
- ГУТТ имеет перспективные эксплуатационные свойства, которые позволяют прогнозировать возможность создания современной высокоэффективной и экологически безопасной камеры сгорания со свойствами, соответствующими современным мировым требованиям;
- результаты испытаний позволяют планировать работы по доводке горелочной системы трубчатого типа с целью повышения ресурса работы ГТД и расширения диапазона эксплуатации с хорошими характеристиками экологической безопасности.

К сожалению, изменение руководства ГПНПКГ «Зоря» - «Машпроект» привело к изменению стратегии развития предприятия, которая получила «новое» содержание, вектор которого направлен только на получение прибыли от выпускаемой продукции в максимально короткий срок. Поэтому финансирование научных разработок по созданию ГУТТ для ДН80 на самом предприятии было прекращено.

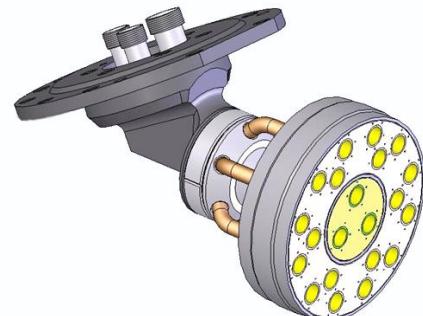


Рис.2. Горелочное устройство трубчатого типа второго поколения для камеры сгорания газотурбинного двигателя ДН80

Несмотря на такое изменение курса ГПНПКГ «Зоря» - «Машпроект» и на основании полученных положительных результатов испытаний ГУТТ второго поколения научный коллектив НТЦ «КОТЕС» принял решение и самостоятельно продолжил работы по усовершенствованию конструкции и рабочих характеристик горелочной системы трубчатого типа для ГТД ДН80.

Исследования новых поколений ГУТТ были продолжены в лабораториях НТЦ «ЭКОТЕС» с использованием собственной испытательной базы, современных средств вычислительной техники и новых программных продуктов SolidWorks и расчетного модуля FlowSimulation. С помощью этого программного обеспечения были созданы трехмерные математические модели как новых конструкций трубчатых элементов, так и новых конструкций горелочных систем трубчатого типа.

С помощью использования в вычислительных целях современного суперкомпьютера, который установлен в Мировом центре данных Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», были разработаны, протестированы и испытаны элементы и конструкции ГУТТ третьего, четвертого и пятого поколений для ГТД ДН80.

Иерархия полученных положительных эффектов и результатов испытаний этих поколений ГУТТ имеет положительную тенденцию к улучшению процессов смесеобразования и сжигания, которые наиболее полно «собраны» в ГУТТ пятого поколения (рис.3).

Разработанная конструкция ГУТТ пятого поколения для ГТД ДН80 имеет завершенный вид [9] и целый комплекс положительных свойств по сравнению с предыдущими поколениями.

Для ГУТТ пятого поколения необходимо отметить следующие основные преимущества:

- конструктивные характеристики, внешние габаритные размеры и проходные сечения по воздуху и топливному газу позволяют изготовить и монтировать устройство в «штатное горелочное место» на двигателе без дополнительных изменений конструкции воздухо- и топливоподвода;

- аэродинамические показатели устройства характеризуются высоким уровнем равномерности как по поперечному, так и по продольному

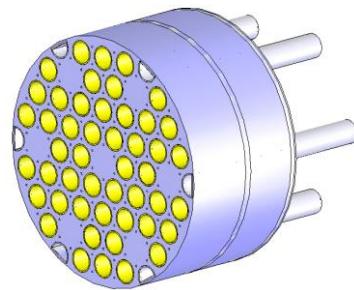


Рис.3. Горелочное устройство трубчатого типа пятого поколения для камеры сгорания газотурбинного двигателя ДН80

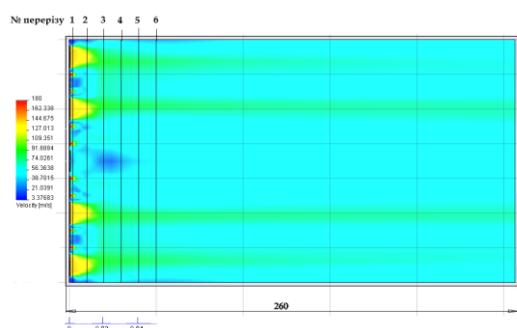


Рис.4. Поле скоростей в продольном разрезе жаровой трубы с ГУТТ пятого поколения: разрез 1 – на расстоянии 2 мм от фронтальной трубной доски устройства; 2 – 10 мм; 3 – 20 мм; 4 – 30 мм; 5 – 40 мм; 6 – на расстоянии 50 мм от фронтальной трубной доски устройства

сечениям жаровой трубы;

- смесеобразование воздуха и топливного газа осуществляется равномерно по поперечному сечению жаровой трубы, имеет короткий «шлейф» и не содержит зон и областей с неравномерной концентрацией горючих элементов (рис.4);

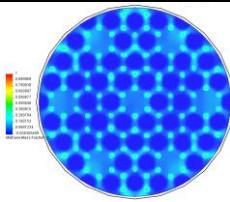
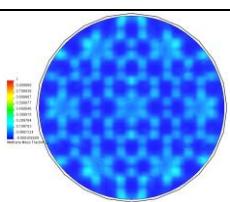
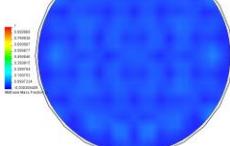
- прямоточность с высокой скоростью движения и сгорания смеси в жаровой трубе позволяют существенно сократить время пребывания ее в зоне горения, что способствует снижению эмиссии оксидов азота (рис.4);

- конструкция устройства позволяет легко на любом режиме работы камеры сгорания переходить с диффузионного на кинетическое смесеобразование и сгорание смеси в прямом и обратном направлениях, а также обеспечивать комбинированное образование и горение топливо-воздушной смеси с любым распределением по кинетическому (предварительному) и диффузионному каналам;

- использование новых конструктивных элементов в трубчатых модулях устройства [9] позволяют обеспечить высокий качественный уровень кинетического смесеобразования и подготовки смеси к подаче в зону горения с обеспечением высоких значений коэффициента полноты сгорания топлива;

- по всему поперечному сечению жаровой трубы смесеобразование и сгорание топливо-воздушной смеси имеет равномерный микродиффузионный и гомогенный характер за счет достижения высокого уровня равномерности концентрации топлива в потоке воздуха (таблица).

Таблица. Концентрация топливного газа в потоке воздуха в различных поперечных сечениях жаровой трубы камеры сгорания ГТД ДН80 с использованием ГУТТ пятого поколения

Номер поперечного сечения жаровой трубы	Расстояние от фронтальной трубной доски горелочного устройства до сечения, (мм)	Концентрация топливного газа в потоке воздуха
1	2	
2	10	
3	20	

Внедрение новых конструктивных элементов в трубчатые модули позволяют обеспечить высокачественное смешение топливного газа с воздухом внутри модуля на коротком от ввода газа расстоянии с равномерной по сечению концентрацией так, что на выходе смеси из модуля и попадания в зону горения происходит ее быстрое и качественное сгорание. Это позволяет снизить вероятность возникновения пульсационного горения и вибраций как жаровой трубы, так камеры сгорания и всего ГТД в целом.

Выводы

Полученные на моделях и на лабораторных стендах в НТЦ «ЭКОТЭС» результаты испытаний горелочного устройства трубчатого типа пятого поколения для камеры сгорания ГТД ДН80 позволяют утверждать, что разработана новая конструкция высокоэффективной и экологически безопасной горелочной системы для высокофорсированного мощного газотурбинного двигателя отечественного производства.

Для получения реальных аэродинамических, тепловых, огневых и экологических характеристик ГУТТ для камеры сгорания ГТД ДН80 пятого поколения необходимы комплексные стендовые испытания устройства на модельных параметрах в одногорелочном отсеке ГПНВКГ «Заря» - «Машпроект».

Учитывая опыт использования ТТГ для модернизации камер сгорания ГТУ в составе ГПА типа ГТК-10 и ГТ-750-6 [5,10] можно утверждать, что трубчатая технология может быть использована как для модернизации существующих, так и для вновь проектируемых камер сгорания перспективных ГТУ.

Наработанные и протестированные модели и конструкции, как отдельных трубчатых элементов, так и горелочных систем трубчатого типа, позволяют получить ряд преимуществ перед использованием традиционных горелочных систем (регистрового типа с завихрителями потока), а именно:

- унифицированный поход к разработке ГУТТ на базе использования трубчатой технологии сжигания газа позволяет упростить и ускорить процесс создания и доводки горелочных систем для камер сгорания широкого класса ГТУ и ГТД различной мощности;

- конструктивные особенности ГУТТ позволяют минимизировать вероятность появления пульсационного горения и способствуют продлению срока рабочего моторесурса двигателя;

- система смесеобразования и горения позволяет достичь низкого уровня эмиссии оксидов азота и оксида углерода во всем диапазоне рабочих режимов ГТД;

- использование ТТГ в горелочных системах позволяет существенно расширить диапазон устойчивой и эффективной работы ГТД с плавным переходом с одного режима на другой;

- равномерность температурного поля в жаровой трубе не зависит от режима работы КС и остается в необходимых допустимых пределах, соответствующих установленным требованиям.

Учитывая, что для Украины становится все актуальнее комплексная проблема экономии природного газа, повышение энергетической эффективности и

экологической безопасности энергопреобразования как в энергетической, так и в перерабатывающей и в машиностроительной отраслях, становится все очевиднее необходимость создания современных газотурбинных, парогазовых и газопаровых установок на основе мощных газотурбинных двигателей, для которых трубчатая технология газосжигания в камерах сгорания может раскрыть уникальный комплекс положительных энергетических, экологических и экономических преимуществ по сравнению с существующими технологиями.

Список литературы: 1. Костенко Д.А., Романов В.В., Халатов А.А. Модернизация газотранспортной системы Украины: проблемы создания новых газоперекачивающих агрегатов // Промышленная теплотехника. –2011.– №2(33), 2. Любчик Г.Н., Левчук С.А., Варламов Г.Б., Марченко Г.С., Микулин Г.А. Особенности эмиссии NO_x и CO в горелках на базе трубчатых модулей // Енергетика: економіка, технології, екологія.–2001.– № 4.–С. 59-63.3. Любчик Г.Н., Варламов Г.Б., Микулин Г.А., Левчук С.А., Зарицкий А.А., Ольховская Н.Н. Использование конструктивных особенностей и аэродинамических эффектов насадка Борда при создании малотоксичных топливосжигающих модулей // Технологические системы.–2002.– № 1.– с. 130-133. 4. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Марченко Г.С., Макаренко В.О. Газовый пальник // Деклараційний патент на винахід № 50168A, м.п.кл. F23D14/02, F23D14/22, бюл. № 10.– 2002.– С.5. 5. Любчик Г.Н., Варламов Г.Б., Говдяк Р.М. Шелковский Б.И., Марченко Г.С., Микулин Г.А., Левчук С.А. Создание малотоксичных камер сгорания ГТУ // Экотехнологии и ресурсосбережение.–2003.–№ 2.–С. 65-74. 6. Варламов Г.Б., Марчук Я.С., Беккер М.В., Любчик Г.М. , Камаєв Ю.М., Позняков П.О., Кузьменко Д.О. Трубчаста технологія газоспалювання – прорив у енергозбереженні та екологічності транспортування природного газу// Нафтогазова енергетика, № 1(12), 2010, с. 60-63.7. Камера згоряння газової турбіни енергетичної установки. Коваленко Анатолій Васильович , Ванцовський Володимир Григорович, Коротич Євген Вікторович; Жихарев Сергій Дмитрович Пат. України на винахід №68446, МПК (2006) F23R 3/34, зареєстрований 16.08.2004р., бюл.8. 8.Любчик Г.Н., Варламов Г.Б., Романов В.В., Ванцовский В.Г., Вилкул В.В. Результаты испытаний камеры сгорания ГТД ДГ80 с низкоэмиссионным горелочным устройством на базе трубчатых модулей // Восточно-европейский журнал передовых технологий 4/6 (40) 2009, с. 13-18. 9. Багатоканальний пальник трубчастого типу газотурбінного двигуна з інжекторною газоподачею / Варламов Г. Б., Приймак Е. А., Позняков П. О., Оліневич Н. В. Пат. України на винахід № 98097, МПК (2012.01) F23R 3/34 (2006.01) опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. — 10 с.10. Варламов Г.Б. Особенности горелочной системы трубчатого типа для камеры сгорания гту в составе ГТК-10. / Варламов Г.Б., Позняков П.О., Юрашев Д.Н. // Экотехнологии и ресурсосбережение – №2 – 2012г.

Поступила в редакцию 04.04.2012

УДК 678.5:512(075.8)

Ф.Г. ФАБУЛЯК, докт.техн.наук, проф., НАУ, Київ,
Л.Д. МАСЛЕННИКОВА, канд.техн.наук, проф., НАУ, Київ,
Н.В. КОЛОНІАРІ, студ., НАУ, Київ,
К.Д. ПИЖОВА, зав. лаб., ДНДІ «Еластик», Київ

МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІЗОПРЕНОВОГО ПОКРИТТЯ ДИМЕТАКРИЛАТТРИЕТИЛЕНГЛІКОЛОМ

Викладено результати досліджень впливу диметакрилаттриетиленгліколя на властивості натурального латексу. Установлено, що вміст модифікатора впливає на молекулярну та

міжмолекулярну рухливість. Перенасичення модифікатором призводить до формування двостепennих взаємодій між компонентами лакової суміші.

Ключові слова: диметакрилаттриетиленгліколь, латекс, діелектрична релаксація.

Изложены результаты исследований влияния диметакрилаттриетиленгликоля на свойства натурального латекса. Установлено, что содержимое модификатора влияет на молекулярную и межмолекулярную подвижность. Перенасыщение модификатором приводит к формированию двостепенных взаимодействий между компонентами лаковой смеси.

Ключевые слова: диметакрилаттриетиленгліколь, латекс, диэлектрическая релаксация.

The researches results of triethyleneglycoldimethacrylate influence on property of natural latex are expounded. It is set that modifier content influences on molecular and intermolecular mobility. Supersaturating a modifier results in forming of double-stage cooperations between the components of the lacquered mixture.

Keywords: triethyleneglycoldimethacrylate, latex, dielectric relaxation.

Вступ

В даний час в гумовій промисловості застосовують широкий спектр каучуків, проте великою частиною промислового використання являються натуральні та синтетичні поліізопрени. До цих пір натуральний каучук (НК) залишається еталоном каучуку загального призначення, що володіє комплексом цінних властивостей. Високий рівень властивостей виробів з натурального каучуку в значній мірі обумовлений наявністю в його складі білкових речовин.

По ряду технічних параметрів, таких, як когезійна міцність, термомеханічна стабільність, стійкість до розриву та інших, НК не має аналогів, і для забезпечення потреб багатьох областей техніки та медицини, наша країна змушена купувати за кордоном натуральний каучук і латекс натурального каучуку. Основними споживачами НК сьогодні є шинна промисловість, авіація, медицина і медична промисловість [1].

Відсутність на території нашої країни кліматичних зон, придатних для вирощування каучуконосних рослин, робить найбільш перспективним пошук шляхів спрямованої модифікації синтетичних каучукоподібних полімерів з метою одержання матеріалів, що зможуть замінити поліізопреновий каучук з технічно важливим фізико-хімічними параметрами. Модифікація синтетичного каучуку повинна покращувати властивості гум за такими показниками: електролізоляційні властивості, адгезійні, когезійні, механічно-міцнісні та інші.

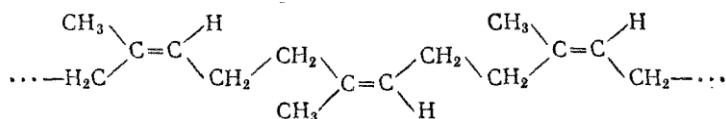
Головною метою даної роботи є створення нового модифікованого поліізопренового покриття. В науковому і технологічному аспекті проблема пошуку модифікаторів, які забезпечують покращені властивості для поліізопренового покриття представляється надзвичайно актуальною [2]. Великий інтерес в цьому плані представляє використання модифікатора диметакрилаттриетиленгліколю.

Модифікація поліізопренових покрівель диметакрилаттриетиленгліколем відноситься до технологічно-науково-технічних фундаментальних задач по створенню нових лакофарбових композицій на основі латексів і різної хімічної природи модифікаторів. Саме тому модифікація поліізопренового покриття з використанням диметакрилаттриетиленгліколю при використанні натурального

латексу і виявленні оптимального складу латекс-лакової композиції, тобто поліїзопренового лаку, являється актуальною.

Характеристика матеріалів

Одним з найбільш відомих природних полімерів є поліїзопрен або натуральний каучук.

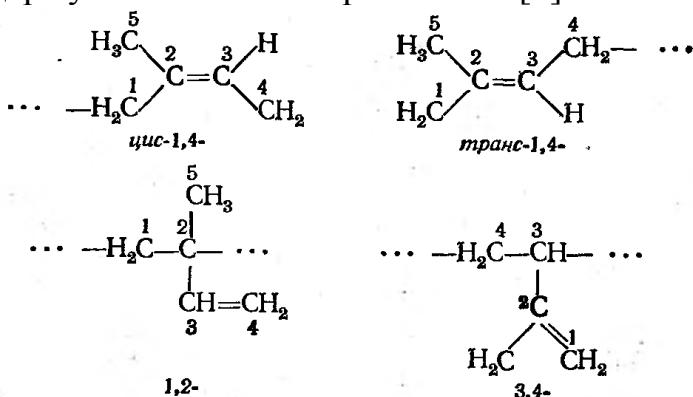


Поліїзопрен є дієновим полімером, що означає полімер, який складається з мономерів, що містять два подвійні вуглеводневі зв'язки. Як і в більшості дієнових полімерів, він містить подвійний вуглеводневий зв'язок в основному ланцюгу макромолекули.

Регулярність будови натурального каучуку зумовлює його здатність до кристалізації.

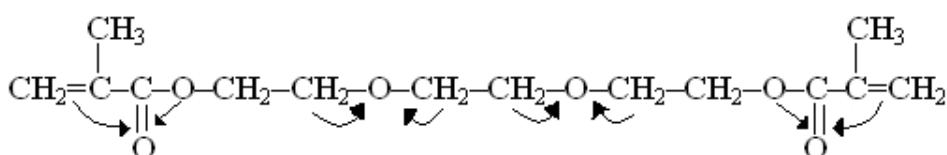
Натуральний каучук розчинний у бензині, бензолі, хлороформі, сірковуглеці, четирьоххлористому вуглеці, скіпидарі і деяких ароматичних вуглеводнях.

При полімеризації ізопрену можливо, в залежності від порядку розкриття подвійних зв'язків, одержувати ланки чотирьох типів [3]:



ТГМ-3 – діметакрилаттриетиленгліколь призначений для зв'язування при виготовленні різних пластмас, а також як компонент в реакціях кopolімеризації з різними мономерами (для одержання емалей, лаків, клеїв і т. д.).

Емпірична формула – $\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}_6$.



Олігоестеракрилат ТГМ-3 являє собою продукт етерифікації метакрилової кислоти триетиленгліколя в середовищі розчинника в системах, що виключають контактування реакційного середовища з металевими поверхнями.

Методика модифікації поліїзопренового покриття диметакрилаттриетиленгліколем

Для приготування композиції беремо чистий латекс. У якості модифікатора використовуємо ТГМ-3.

Готуємо композиції за рецептурою, наведеною в таблиці 1.

Таблиця 1.Рецептура модифікованих зразків

№ зразка	Латекс, г	ТГМ-3, г	W _{ТГМ-3} , %
1	20,0	-	0
2	19,8	0,2	1
3	19,6	0,4	2
4	19,2	0,8	4
5	18,8	1,2	6
6	18,4	1,6	8
7	18,2	1,8	10

Устаткування для проведення випробування

Тангенс кута діелектричних втрат та ємність електричного конденсатора визначають на приладі «Міст змінного струму Р5083».

Міст змінного струму Р-5083 є автономним засобом вимірювань загальнопромислового призначення і призначений для автоматичного вимірювання: ємності С, індуктивності L, активного опору R, тангенса кута втрат tg δ (QR), тангенса кута фазового зсуву tg φ (QC і QL) об'єктів вимірювань, а також процентних відхилень параметрів об'єктів вимірювань від заданого значення з поданням результатів вимірювань у цифровому вигляді.

Метод проведення підрахунку одержаних результатів

Електроємність під вакуумом між електродами визначається за формулою:

$$C_0 = k \cdot \frac{S}{h},$$

де $S = 9,78 \text{ (см}^2\text{)}$ – площа зразка, $k = 0,08854$ – коефіцієнт, h – середнє значення товщини зразка.

Діелектрична проникність зразка визначається за формулою:

$$\varepsilon' = \frac{C_x}{C_0},$$

де C_x – електроємність визначена по мосту змінного струму, пФ; C_0 – електроємність під вакуумом між електродами, пФ [4].

Результати та їх обговорення

Діелектрична релаксаційна поведінка поліїзопренових матеріалів, модифікованих різним вмістом диметакрилаттриєтиленгліколя (від 1% до 10%) і не модифікованого приведені на (рис. 1). Як видно з (рис. 1 крива 1) не модифікований різко зшитий поліїзопрен проявляє властивість процесів релаксації: три дипольно-групових при 95, 85 і 75 кГц і три дипольно-сегментальних в міжузлових ділянках макромолекули при 52, 40 і 30 кГц.

Модифікація поліїзопрену 1% модифікатора призводить також до 6-ти процесів релаксації (рис. 1 крива 2), із яких тільки один (85 кГц) проявився при тій же частоті, що і не модифікований. Відсутній процес релаксації, що проявився при частоті 75 кГц. Але проявлений процес релаксації при 62,5 кГц очевидно зв'язаний зі зміщенням процесу релаксації при 75 кГц в сторону менших частот, тобто відбулось зменшення його молекулярної рухливості – кінетичних релаксуючих одиниць зі збільшенням їх кількості, томущо процес релаксації при

62,5 кГц має значно більшу інтенсивність (рис. 1 крива 2). Процеси релаксації при 45 і 35 кГц, що проявились у вихідного зразка (крива 1), зі збільшеною молекулярною рухливістю, тому що відбулось зміщення їх в сторону високих частот.

Таким чином викладені результати досліджень показали, що вміст 1%-ку модифікатора призводить до нового релаксаційного характеру з ефектами збільшення і зменшення рухливості релаксуючих кінетичних одиниць при збільшенні щільноті упаковки макромолекул, тому що крива 2 проходить нижче кривої 1 (рис. 1).

Діелектрична релаксація модифікованого поліізопрену 2%-ми диметакрилаттриетиленгліколем проявляється при наступних частотах: 90, 70, 50, 35, 25 кГц (рис. 1 крива 3), які повністю відрізняються від релаксації вихідного полімеру: 95, 85, 75, 52, 40, 30 кГц (рис. 1 крива 1) і тільки процеси релаксації міжузлових сегментів 25 і 35 кГц співпадають з релаксаційною поведінкою 1%-го модифікованого поліізопрену (рис. 1 крива 2): 95; 85; 65,5; 45; 35; 25 кГц. Проявлення процесу релаксації сегментів сітки 50 кГц (рис. 1 крива 3) слід віднести до зміщеного (чітко проявленимого процесу) вихідного поліізопрену, проявленимого при 52 кГц (рис. 1 крива 1), а 35 і 25 кГц (рис. 1 крива 3) процеси тотожні процесам релаксації зразка модифікованого 1% диметакрилаттриетиленгліколем (рис. 1 крива 2). Нова перебудова міжмолекулярних взаємодій при 2% модифікатора формує чітко виражені інтенсивні процеси релаксації при 70 і 90 кГц.

Таким чином модифікація поліізопрену 2%-вим вмістом диметакрилаттриетиленгліколя формує нові релаксаційні кінетичні рухомі релаксатори при 70 і 90 кГц дипольно-групових процесів релаксації (рис. 1 крива 3) і частково модифіковані дипольно-сегментальний (50 кГц) з незначно зменшеною щільністю упаковки структури полімеру.

Особливий інтерес представляє модифікований поліізопрен вмістом 4% модифікатора (рис. 1 крива 4) із-за проявленим чіткого та інтенсивного процесу релаксації при 85 кГц, який охоплює раціональні взаємодії подвійних зв'язків з групою $-CH_3$ як поліізопрену, так і диметакрилаттриетиленгліколем при значно збільшений щільноті упаковки структури полімеру. Менш інтенсивні процеси релаксації при 70, 45, 35 і 25 кГц можуть також внести суттєвий вплив на властивості модифікованого 4%-ми модифікатора, тому на основі одержаних результатів по релаксації $\tg\delta$ і щільності упаковки структури, композицію латексу

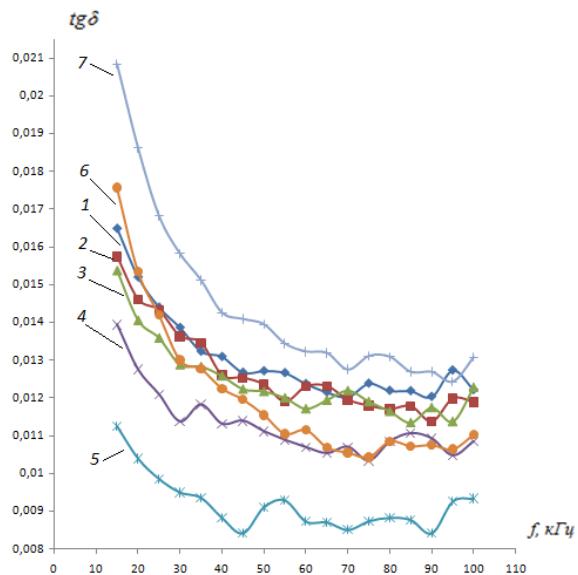


Рис. 1. Залежність $\tg\delta$ від частоти зразків з вмістом модифікатора ТГМ 3 (крива 1 – 0%; крива 2 – 1%; крива 3 – 2%; крива 4 – 4%; крива 5 – 6%; крива 6 – 8%; крива 7 – 10%)

зі 4%-вим вмістом диметакрилаттриетиленгліколя слід віднести до оптимального лаку на основі натурального латексу і диметакрилаттриетиленгліколя.

Як видно із кривої 5 представленої на (рис. 1) релаксаційна залежність $\text{tg}\delta$ від частоти для поліізопрену з вмістом 6% диметакрилаттриетиленгліколя також проявляє трохи менші інтенсивності $\text{tg}\delta$ при 82 кГц і великої інтенсивності релаксаційний процес міжвузлових сегментів при 55 кГц. Тобто, в цьому випадку має місце інтенсивна дипольно-сегментальна і дипольно-групова релаксація, що вказує на існування оптимальних максимальних взаємодій між компонентами поліізопренової композиції, що реалізується на результатах досліджень лакового покриття. Невеликої інтенсивності процеси релаксації при 65 і 35 кГц доповнюють оптимум взаємодії і структури (рис. 1 крива 5) із-за значно низьких значень $\text{tg}\delta$ в порівнянні з вищим зразком.

Таким чином, модифікація 6% диметакрилаттриетиленгліколя вказує, що така модифікація формує оптимальний лак.

Оцінюючи вцілому можна сказати, що вміст диметакрилаттриетиленгліколя в латексі в кількості 4-6% створює оптимальну лакову композицію в натуральному латексі.

Дослідження поліізопрена з більшими вмістами модифікатора (8% і 10%)

показали, що перенасичення модифікатором призводить до малоінтенсивних піків (90, 80, 60, 45, 35, 25 кГц – 8% і 90, 78, 65, 50, 35 кГц – 10%) рис. 1 крива 6 і крива 7 з великою щільністю упаковки, що вказує на формування другостепennих взаємодій між компонентами лакової суміші і вносить вклад в якість лакофарбової композиції та лакового покриття.

Представляють інтерес зміна ϵ' в залежності від концентрації модифікатора при 15 кГц, 100 кГц та мінімальних значеннях ϵ' . Результати експериментальних досліджень приведені на (рис.2).

Як видно із приведеного рисунка діелектрична проникність, визначена при частоті 15 кГц (рис. 2 крива 1) проявляє екстремальне значення в поліізопреновому покритті, яке одержане при модифікації поліізопрена 1% диметакрилаттриетиленгліколя. Екстремальне значення ϵ' вказує на існування поляризації, що дає основу стверджувати про збільшення механічної міцності. Мінімальне значення проявилося в залежності ϵ_{\min} від частоти (рис. 2 крива 2), що вказує на відсутність поляризації 4, 6 і 8% модифікації і на кращі ізоляційні властивості модифікованого поліізопрену. Діелектрична проникність на частотах 100 кГц (рис. 2 крива 3) описується аналогічно 15 кГц (рис. 2 крива 1) і ϵ_{\min} (рис. 2 крива 2).

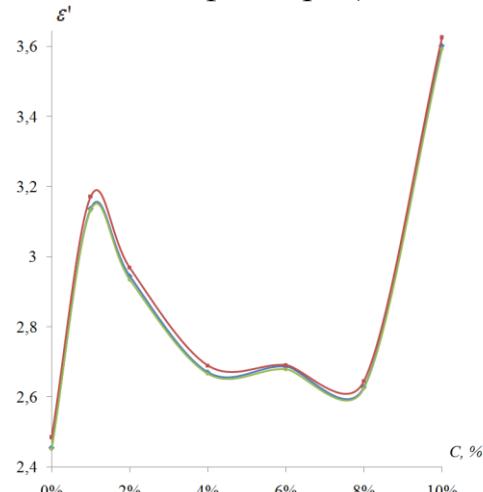


Рис. 2. Залежність ϵ' при частоті 15 кГц (крива 1), 100 кГц (крива 2) та при ϵ'_{\min} (крива 3) від концентрації ТГМ 3

Проведені дослідження частотних залежностей вимірювого питомого опору модифікованого поліїзопренового покриття

диметакрилаттриетиленгліколем показали існування нелінійної зміни величини опору в залежності від кількості модифікатора (рис. 3).

Залежність зміни вимірювого питомого електричного опору від концентрації

диметакрилаттриетиленгліколя при частоті 100 кГц приведено на рис. 4 а при частотах 50 кГц і 15 кГц на рис. 5. Як видно із приведених графіків максимальне значення вимірювого питомого електричного опору має місце при вмісті 6% модифікатора.

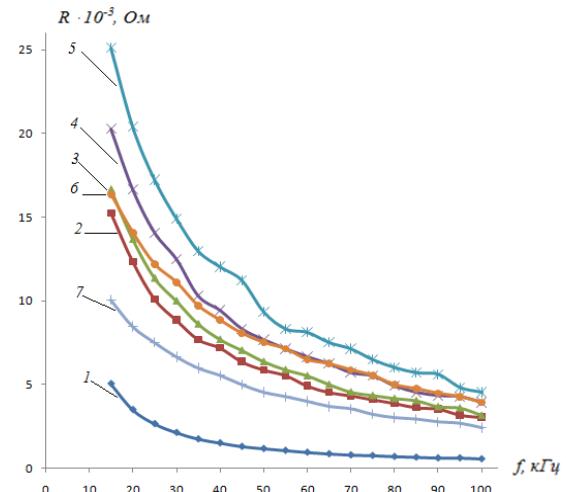


Рис. 3. Залежність R від частоти зразків з вмістом модифікатора ТГМ 3 (крива 1 – 0%; крива 2 – 1%; крива 3 – 2%; крива 4 – 4%; крива 5 – 6%; крива 6 – 8%; крива 7 – 10%)

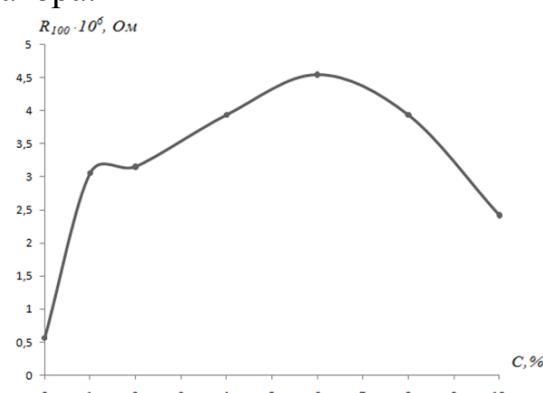


Рис. 4. Залежність вимірювого питомого електричного опору при частоті 100 кГц від концентрації диметакрилаттриетиленгліколя

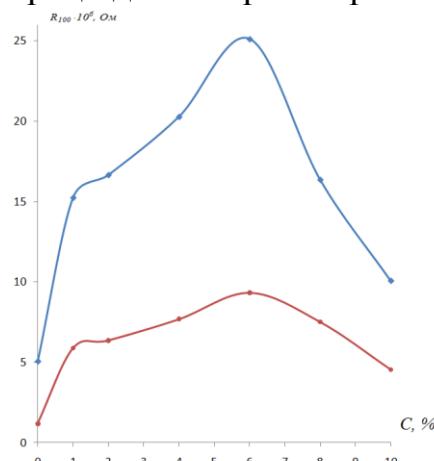
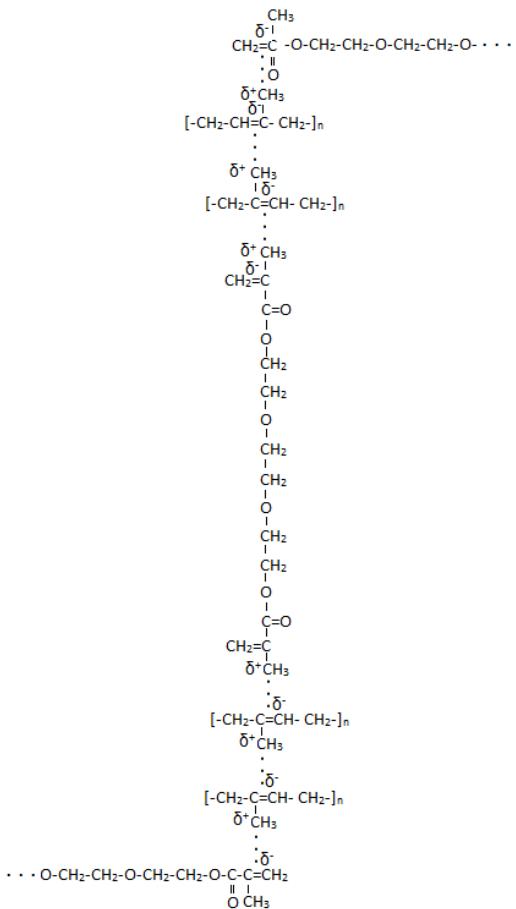


Рис. 5. Залежність вимірювого питомого електричного опору при частоті 50 кГц (крива 1) і при частоті 15 кГц (крива 2) від концентрації диметакрилат триетиленгліколя

Поліїзопреновий латекс подвійним зв'язком вступає у взаємодії з надлишковими зарядами (δ^+) диметакрилатних фрагментів триетиленгліколя

диметакрилату, а надлишкові заряди поліізопрену взаємодіють з карбонілами триетиленгліколь диметакрилату:



Результати досліджень модифікованих поліїзопренових матеріалів показали не існування можливостей модифікації в широких границях із-за наявності в поліїзопрені і модифікаторі надвишкового і надлишкового зарядів.

Висновки

На основі проведених досліджень властивостей поліїзопренового покриття модифікованого диметакрилаттриєтиленгліколем можна зробити наступні висновки:

1. Результати досліджень модифікованих поліїзопренових матеріалів показали неіснування можливостей модифікації в широких границях із-за наявності в поліїзопрені і модифікаторі надвишкового і надлишкового зарядів.

2. Установлено, що при додаванні до латексу диметакрилат триетиленгліколя діелектричні властивості покращуються. Проте важливою умовою модифікації є кількість введеного ТГМ-3 до композиції. Оцінюючи вцілому можна сказати, що вміст диметакрилаттриетиленгліколя в латексі в кількості 4-6% створює оптимальну лакову композицію в натуральному латексі.

3. Дослідження полізопрена з більшими вмістами модифікатора (8% і 10%) показали, що перенасичення модифікатором призводить формування двостепенних взаємодій між компонентами лакової суміші і вносить вклад в якість лакофарбової композиції та лакового покриття.

4. Досліджено, що модифікований поліїзопрен має кращі діелектричні властивості, ніж чистий (не модифікований) латекс. Тобто додавання

диметакрилаттриетиленгліоля створює умови одержання нових матеріалів з наперед заданими властивостями.

Список літератури: 1. Натуральний каучук / Под ред. А. Роберта. Перевод с англ. - М.: Мир, 1990.- ч. I., 191 с. 2.Шварц А.И. Интенсификация производства резинотехнических изделий. – М.: Химия, 1989. – 205 с. 3.Огородников С. К., Идлис Г. С., Производство изопрена, Л., 1973. – 436 с. 4. Масленникова Л. Д., Иванов С. В., Фабул як Ф. Г., Грушак З. В. Фізико-хімія полімерів: Підручник. — К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. — 164с.

Поступила в редколлегию 02.04.2012

УДК 636.631

В.І. ГРІДАСОВ, канд. техн. наук, доц., ХНТУСГ ім. П.Василенка,
Н.М. ТИМЧЕНКО, канд.біол.наук, доц., ХНТУСГ ім. П.Василенка, Харків,
Л.Г. ЗАЙЦЕВА, доц., ХНТУСГ ім. П.Василенка, Харків

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ ВРХ

Розглядається можливість отримання максимальної кількості молока від однієї корови. Запропоновано за допомогою методу отримання від однієї корови двох, трьох, чотирьох телят і поліпшеної методики згодовування кормів, а також дотримання правил підготовки мікроклімату для тварин, підвищити продуктивність корів до рівня більше 12 тис. літрів молока в рік.

Рассматривается возможность получения максимального количества молока от одной коровы. Предложено с помощью метода получения от одной коровы двух, трех, четырех телят и улучшенной методики скармливания кормов, а также соблюдения правил подготовки микроклимата для животных, повысить продуктивность коров до уровня более 12 тыс. литров молока в год.

Possibility of receipt of maximal amount of milk is examined from one cow. It is offered by means of method of receipt from one cow two, three, four cows and improved methodology of feeding of forage, and also observance of rules of preparation of microclimate for animals, to promote the productivity of cows to the level more than 12 thousand litres of milk in a year.

Технологія виробництва продукції тваринництва останніми роками удосконалилася з впровадженням в неї нових порід тварин, способів утримання, годування, що дало можливість отримувати передовим господарствам області 5-6 тис. літрів молока на 1 корову в рік і 80-85 телят на 100 корів. Це непогані результати в порівнянні з показниками минулих років, коли отримували до 3 тис. літрів молока на 1 корову в рік і 60-65 телят на 100 корів.

Порівнюючи дані результати із зарубіжними досягненнями, якими є 12-14 тис. літрів молока на 1 корову в рік і до 95 телят на 100 корів, можна сказати, що наші показники є недостатніми. Тим більше, що виробництво молока і яловичини на душу населення не достатнє і набагато нижче, ніж існуючі досягнення зарубіжжя.

Бажано в найближчі десятиліття отримувати до 100 млн тонн зерна в рік і збільшити виробництво молока і м'яса в 3-4 рази. Здійснення цих планів лежить як в площині збільшення виробництва продукції тваринництва за рахунок

продуктивності кожної тварини, так і за рахунок швидкого збільшення кількості дойного стада, розвитку нових форм організації виробництва, і шляхом вдосконалення технологій.

Виробничники і вчені часто задаються питанням: скільки можна отримати молока від однієї корови? У наукових звітах НДІ тваринництва (м. Подольськ, Московська обл.), НДІ тваринництва (м. Харків) та ін., у тому числі, зарубіжних виданнях, відповіді на це конкретне питання знайти важко, тим більше, з прив'язкою до параметрів тварини.

Проте проводилися досліди по отриманню максимальної кількості молока від однієї корови з чітким дотриманням всіх технологічних норм. Ці досліди закінчувалися тим, що тварина піддавалася стресовій дії і тварина або припиняла видачу молока на якийсь період часу, і потім довго не відновлювала свою здібність до максимального надою, або взагалі припиняла доїтися.

Аналізуючи дані дослідження, ми прийшли до висновку, що тварина може щодня давати молока в кількості 10% від ваги тварини, що дорівнює різниці між кількістю молока, отриманою від корови при стресі (стресовий надої) і кількістю молока 3-5 літрів на добу (ці 3-5 літрів перед досягненням стресового надою не можна «переходити», щоб корова не перестала взагалі доїтися, тому цю кількість молока називаємо «захисною смugoю»). Тому для виробничників можна рекомендувати максимальний надої від корови 10% від її ваги. Якщо вага корови 400-450 кг, в середньому 425 кг, то максимальний надої має бути приблизно 42,5 літра на добу від однієї корови. Захисна смуга в 3-5 літрів розташована вище за значення 42,5 літра, її не можна переходити. Стресовий надої рівний приблизно 45,5-47,5 літрів [1].

Аналізуючи кількість молока, що отримують відожної корови на 5-6 місяць після розтelenня першотелиці (після проведеного науково-обґрунтованого «роздоювання» тварини), ми бачимо, що до результату який ми рекомендуємо (максимального надою, рівному 10% від ваги тварини), приходять близько 1% першотелиць, останні першотелиці дають надої набагато нижче, ніж 10% від ваги тварини.

Можна обґрунтовано зробити висновок, що першотелиці були неправильно підготовлені до розтelenня (недостатній масаж вимені відповідно до науково-обґрунтованих рекомендацій і недостатній режим «роздоювання» після першого отелення, як вказано в [2,3]).

Нами отримано два патенти на вібраційно-вакуумні доїльні апарати, які можуть виконувати функції масажу вимені до отелення тварини і діяти комплексно – поєднувати і масаж вимені, і доїння після першого отелення в період «роздоювання». Вживання даних апаратів до отелення як тільки для масажу, так і комплексно – і для масажу вимені, і для доїння, дає можливість отримати надбавку в надоях молока 10-12%, але далеко не наближає до максимального надою (10% від ваги тварини).

Проведення «роздоювання» першотелиці з метою отримання від корови максимального надою не повинне обмежуватися лише рекомендаціями, викладеними в [1], тому ми пропонуємо шукати нову методику, яка б дозволяла

отримувати максимальні надої. Таким способом може бути отримання від першотелиці двох, трьох, чотирьох телят в перше отелення [4,5,6].

Це дає можливість збільшення площі і об'ємів робочих органів молокоутворення за рахунок максимальної напруги організму тварини при виношуванні першотелицею двох, трьох, чотирьох телят.

Дана методика дає можливість отримати двох, трьох, чотирьох телят (від багатоплідної першотелиці), які у віці 4-5 місяців досягають параметрів (вага, зріст і так далі), рівних тим, що мають їх однолітки, що народилися від одноплідної першотелиці. Виношування першотелицею двох, трьох, чотирьох телят є можливим, тому що це єдиний час, коли першотелиця не доїться, і може максимально свій енергетичний ресурс направити на життєзабезпечення і розвиток телят.

Отримання максимальної кількості молока від однієї корови, рівної 10% від її ваги, можливо при адекватному раціоні і годуванні тварин. Збільшення кількості комбікормів в раціоні тварини до 60% економічно недоцільно у наш час, оскільки закупівельні ціни є високими і вигідно продати зерно, як продукт для населення.

А завдання полягає в тому, щоб за рахунок рослинних кормів збільшити виробництво молока шляхом удосконалення технології годування. У зв'язку з цим, ми пропонуємо комплекс заходів, направлених на наступне: 1) Максимальна швидкість проходження корму через шлунково-кишковий тракт тварини, засвоєння його і формування молока, м'язової тканини і підтримки життєздатності тварини. Це досягається за рахунок: а) підготовки корму, стебельчатих кормів до ниткоподібної волокнистої маси, тобто роздирання, розщеплювання стебел силосної маси, сінажу, і грубих кормів; б) для зернових – роздирання маси зерна на рухливих і нерухомих парах робочих органів машин; в) додавання в раціон тварин до 10 кг на добу пророщеної зеленої біомаси з насіння пшениці, ячменю, гороху і інших культур 10-15 денного віку. Впровадження в раціон даної біомаси пророщеного зерна в суміші з іншими компонентами раціону дає можливість активізувати процеси травлення і засвоєння основного корму (силосу, сінажу, грубих кормів) і забезпечує безперервний процес молокоутворення у тварин. 2) Одним з важливих елементів правильного використання тварин для отримання максимального надою молока є мікроклімат, що створюється в приміщенні для утримання тварин. Температурним режимом, найбільш сприятливим для життєдіяльності тварини, є 18-22 °C тепла, зниження температури, як і підвищення її є несприятливим чинником, що призводить до зниження продуктивності тварин і птиці.

Таким чином, запропонований метод, що дозволяє наблизити рівні надоїв від корови до максимального (10% від ваги тварини). Впровадження у виробництво запропонованих удосконалень, обґрутованих багатолітнім досвідом утримання ВРХ, дає можливість отримати молока (при середній вазі тварини 400-450 кг і, відповідно, надої 42,5 літра на добу) за лактаційний період 300 днів: Річний надої = 42,5л х 300 днів = 12750 л/рік.

Запропонована методика дозволить згодовувати важкі для травлення складові раціону швидше і ефективніше, що збільшить кількість корму, що

пройшов через шлунково-кишковий тракт, переробленого і засвоєного, що дасть можливість збільшити виробництво молока. Підготовка кормів до згодовування повинна проводитися з врахуванням вимог даної технології і корма повинні мати температуру не менше 20-22°C. Не дотримання вимог даної технології приводить до зайніших енерговитрат у корови на пережовування кормів, нагрівання, розщеплювання, засвоєння, що приводить до втрати продуктивності тварини.

Список літератури: 1. Методические рекомендации по организации подготовки нетелей к лактации, отбора, раздоя и оценки первотелок на специализированных фермах и комплексах по производству молока – М.: ВАСХНИЛ, 1985. -53 с. 2. Пат. 17977 Україна Вакуумно-вібраційний доїльній апарат / Грідасов О.В., Бойко І.Г., Науменко О.А., Петрушка Є.З., Грідасов В.І., Малахова К.С., опубл. 16.10.2006 р. 3. Пат. 20997 Україна Спосіб доїння корів / Грідасов О.В., Бойко І.Г., Науменко О.А., Петрушка Є.З., Грідасов В.І., опубл. 15.02.2007 р. 4. Пат. 64539 Україна Спосіб одержання за одне народження двох або більше телят від однієї корови / Грідасов О.В., Васюренко Л.В., Вачсюренко Д.Є., Грідасов В.І., опубл. 10.11.2011 р. 5. Пат. 66682 Спосіб одержання від корови за одне народження двох або більше телят заданої статі / Грідасов О.В., Васюренко Л.В., Васюренко Д.Є., Грідасов В.І., Тимченко Н.М., опубл. 10.01.2012 р. 6. Біологічне обґрунтування можливості регулювання відтворення ВРХ / О.В. Грідасов [та ін.] // Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини – 2011. – Вип. 23, ч.2, т.2. – С.435-438.

Поступила в редколлегию 02.04.2012

УДК 621.301.

Н.П. КУНДЕНКО, канд. техн. наук, доц., ХНТУСХ им. П.Васленко. Харьков
А.Д. ЧЕРЕНКОВ док. техн. наук., проф ХНТУСХ им. П.Васленко. Харьков

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДИФФУЗНОГО ПОТОКА К ПОВЕРХНОСТИ СФЕРОИДА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО СПЕРМИЙ

Запропоновано використати ультразвукові коливання як засоби інтенсифікації процесу розчинення, з метою впливу на біологічні об'єкти.

Ключові слова: ультразвук, коливання, дифузія, кавітація.

Предложено использовать ультразвуковые колебания как средства интенсификации процесса растворения, для воздействия на биологические объекты.

Ключевые слова: ультразвук, колебания. диффузия, кавитаци.

Proposed use of ultrasonic vibration as a means of intensifying the process of dissolution, for vozdeyviya on biological objects.

Keywords ultrasound vibrations. diffusion, cavitation

Постановка проблемы

Процессы замораживания и последующего отогрева могут оказывать сильное повреждающее действие на биологические объекты (спермии, эмбрионы и т.п.). В этой связи важной проблемой является всестороннее изучение возможностей увеличения криорезистивности биологических объектов и поиск способов дополнительной криозащиты их структур [1-3]. Наряду с совершенствованием таких традиционных подходов, как определение для каждого биологического объекта криозащитных сред и режимов

криоконсервирования, изучаются возможности использования физических факторов, оказывающих обратимо модифицирующее воздействие на криолабильные структуры биологических систем. Одним из таких физических факторов является ультразвук низкой интенсивности. Если реакции биологических объектов на ультразвуковые колебания изучены хорошо на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях [4,5], то возможности влияния ультразвуковых волн на биологические объекты, находящиеся в криоконсервирующей среде, изучены недостаточно хорошо.

Учитывая это, целесообразно исследовать возможные механизмы воздействия ультразвуковых волн с целью оптимизации условий низкотемпературного консервирования таких биологических объектов как сперма сельскохозяйственных животных. Это позволит повысить эффективность способов замораживания и отогрева биологических объектов (спермии, эмбрионы и т.п.) и выявить подходы к использованию ультразвуковых волн при криоконсервировании биологических объектов. Существенным вопросом при этом является возможность физико-математического описания взаимодействия ультразвуковых волн с криоконсервирующей средой, содержащей биологические объекты.

Наличие микропотоков у поверхности биологического объекта существенным образом влияет на процесс диффузии частиц криоконсервирующей среды. Эти микропотоки осуществляют перенос частиц криоконсервирующей среды к поверхности биологического объекта. Математическое описание процесса массопередачи может быть проведено в рамках диффузионной кинетики. Многочисленные экспериментальные результаты показывают, что процесс массопередачи определяется диффузией, возникающей вследствие наличия разности концентраций между слоем среды, непосредственно примыкающим к поверхности биологического объекта (эмбрион, спермий) и толщей среды.

Как следует из целого ряда экспериментов, поток частиц среды Q при наличии акустических волн возрастает. Согласно закона Фика, это возможно, только в том случае, если акустические волны могут увеличивать коэффициент молекулярной диффузии D или градиент концентрации $\frac{\partial q}{\partial \vec{n}}$ на поверхности биологического объекта. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что наличие акустических волн, действующих на криоконсервирующую среду, должно увеличивать градиент концентрации.

Основные материалы исследования

Рассмотрим биологический объект – спермий, моделируемый эллипсоидальным сфероидом. При наличии акустических колебаний вблизи граничной поверхности сфероида возникают микропотоки, средняя скорость которых может быть представлена в виде

$$\bar{V}_{\xi^2} = -\frac{A_2 e^{-2\alpha c \xi}}{\xi^2 - \eta^2} + \frac{D_2}{\sqrt{(\xi^2 - \eta^2)(\xi^2 - 1)}}, \quad \bar{V}_{\eta^2} = \bar{V}_{\varphi^2} = 0, \quad (1)$$

где

$$A_2 = -\frac{A^2 B^2 k_0 (\xi_0^2 + \alpha^2)}{8 \rho_0^2 \omega c^2}, \quad (2)$$

$$B = \frac{4a}{2 + \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \ln \frac{b}{a + \sqrt{a^2 - b^2}}}, \quad (3)$$

а величина D_2 задается формулой. Здесь ξ, η, φ - сфероидальные координаты связанные со сфероидом.

Для дальнейшего нам понадобятся следующие представления дифференциальных операторов ∇_2, ∇_\perp и Δ в сфероидальных координатах. Как известно, они имеют следующий вид

$$\nabla_2, \nabla_\perp \Phi = \frac{\bar{V}_{2\xi}}{\sqrt{q_{11}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} + \frac{\bar{V}_{\eta 2}}{\sqrt{q_{22}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} + \frac{\bar{V}_{\varphi 2}}{\sqrt{q_{33}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta}, \quad (4)$$

$$\Delta \Phi = \frac{1}{\sqrt{q}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{11}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{22}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{33}} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} \right) \right], \quad (5)$$

где

$$q_{11} = c^2 \frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}, \quad q_{22} = c^2 \frac{\xi^2 - \eta^2}{1 - \eta^2}, \quad q_{33} = c^2 (\xi^2 - 1) (\xi^2 - \eta^2), \quad (6)$$

$$q = q_{11} q_{22} q_{33} = c^6 (\xi^2 - \eta^2)^2.$$

Используя (4), (5) и учитывая (1), запишем уравнение конвективной диффузии в сфероидальных координатах

$$\begin{aligned} \bar{V}_{\xi 2} \sqrt{\frac{\xi^2 - 1}{\xi^2 - \eta^2}} \frac{\partial q}{\partial \xi} &= \frac{D}{c (\xi^2 - \eta^2)} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left((\xi^2 - \eta^2) \frac{\partial q}{\partial \eta} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\xi^2 - \eta^2}{(\xi^2 - 1) (\xi^2 - \eta^2)} \frac{\partial^2 q}{\partial \varphi^2} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Как и в случае биологического объекта – эмбриона, можно предположить, что доминирующим членом в правой части (7) является член

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right).$$

Поэтому уравнение (7) можно заменить приближенным уравнением следующего вида

$$\bar{V}_{\xi 2} \sqrt{(\xi^2 - 1) (\xi^2 - \eta^2)} \frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{D}{c} \frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right). \quad (8)$$

Это уравнение является исходным для определения градиента концентрации.

Найдем решение уравнения (8). Введем новую неизвестную функцию $U = \frac{\partial q}{\partial \xi}$. В терминах этой функции уравнения (8) запишется следующим образом

$$\bar{V}_{\xi 2} \sqrt{(\xi^2 - 1) (\xi^2 - \eta^2)} U = \frac{D}{c} \left[2 \xi U + (\xi^2 - 1) \frac{\partial U}{\partial \xi} \right]. \quad (9)$$

Преобразуем (9) к следующему виду

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \ln U = \frac{c \bar{V}_{\xi^2}}{D} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} - \frac{2\xi}{\xi^2 - 1}. \quad (10)$$

Интегрируя по переменной ξ левую и правую части в (10) получаем

$$\ln U = \frac{c}{D} \int \bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} d\xi - \ln (\xi^2 - 1). \quad (11)$$

Вычислим неопределенный интеграл в (11). С этой целью преобразуем подынтегральную функцию

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} = \frac{A_1 e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\eta^2}{\xi^2}\right)\left(1 - \frac{1}{\xi^2}\right)}} + D_2 \sqrt{\frac{1 - \frac{\eta^2}{\xi^2}}{1 - \frac{1}{\xi^2}}} \quad (12)$$

Поскольку переменная $\xi \geq \xi_0$ ($\xi = \xi_0$ - уравнение для граничной поверхности биологического объекта), а величина

$$\xi_0 = \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \gg 1$$

и $|\eta| < 1$, то радикалы в (12) можно заменить их асимптотическими значениями. Тогда получим

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} = \frac{A_1 e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} + D_2. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11) имеем

$$\ln U \cong \frac{c A_1}{D} \int \frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} d\xi + \frac{c D_2}{D} \xi - \ln (\xi^2 - 1). \quad (14)$$

Интеграл в (14) может быть представлен в следующем виде

$$\int \frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} d\xi = -\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} - 2\alpha E i (-2\alpha\xi) + A_3, \quad (15)$$

где A_3 - произвольная постоянная величина.

$$A_3 = \frac{D}{c A_1} \ln q_1.$$

С учетом выше изложенного, получаем следующее выражение для градиента концентрации

$$\frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + 2\alpha E i (-2\alpha\xi) \right) + \frac{c D_2}{D} \xi \right] \quad (16)$$

Если теперь воспользоваться асимптотическим представлением для интегральной показательной функции, то окончательно будем иметь

$$\frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + \gamma + \ln (2\alpha\xi) \right) + \frac{c D_2}{D} \xi \right] \quad (17)$$

Получаем формулу для расчета плотности диффузного потока на поверхности биологического объекта

$$j = D \frac{\partial q}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_0} = \frac{D q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + \gamma + \ln 2\alpha\xi \right) - \frac{c D_2}{D} \xi_0 \right] \quad (18)$$

Выводы. Построена математическая модель процесса массопереноса частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологического объекта при наличии акустических колебаний. Установлено, что при воздействии акустической волны на крио – консервирующую среду с биологическим объектом (эмбрион, спермий) вблизи граничной поверхности биологического объекта возникает пограничный слой частиц крио – консервирующей среды, толщина которого прямо-пропорциональна линейному размеру биологического объекта и обратно-пропорциональна квадратному корню из амплитуды акустической волны.

Список литературы: 1. Лаврик С.С. Консервирование костного мозга поливиниллоридоном путём замораживания в жидким азоте. /С.С. Лаврик - Пробл. гематол. и перелив. крови, 1966, 2, с. 50-64. 2. Медведев П.М., Русанович Т.П. Процессы льдообразования и режимы охлаждения суспензии клеток крови и костного мозга. В кн.: Актуальные вопросы консервирования и трансплантации костного мозга и крови. /П.М. Медведев, Т.П. Русанович -Харьков.: АН УССР, 1972, с. 11-25. 3. Резниченко А.А. Изменение свойств катализа эритроцитов крови человека под влияние ультразвука разных параметров. В кн.: Ультразвук в физиологии и медицине: / А.А. Резниченко Тез. докл. научн. конф., Ростов-на-Дону, 1972, 1, с. 68-69. 4. Аконян В.Б. Закономерности биологического действия ультразвука низких интенсивностей.: / В. Б. Аконян.-Автореф. дис. д-ра биол. наук. – М., 1982, 32 с. 5. Аконян В.Б., Сарвазян А.П. Исследование механизмов действия ультразвука на биологические среды и объекты. : / В. Б. Аконян, А.П. Сарвазян-Акустический журнал, 1979, т. 25, в. 3, с. 462-463.

Поступила в редакцию 08.04.2012

УДК 632.935.4

М. С. СОРОКИН, канд.техн.наук, ХНТУСХ им.П. Василенко, Харьков,
А.Д. ЧЕРЕНКОВ, докт.техн.наук, проф., ХНТУСХ им.П. Василенко, Харьков

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ЖИВОТНОВОДСТВА

В статье рассмотрены проблемы связанные с использованием импульсных генераторов КВЧ диапазона применяемых для воздействия на микробиологические объекты животноводства.

Ключевые слова: импульсный генератор, лавино-пролетный диод, микробиологические объекты.

У статті розглянуті проблеми пов'язані з використанням імпульсних генераторів КВЧ діапазону які використовуються для дії на мікробіологічні об'єкти тваринництва.

Ключові слова: імпульсний генератор, лавіно-прольотний діод, мікробіологічні об'єкти.

In the article is problems connected with use of the EHF pulse generators of a range applied to impact on microbiological objects of animal husbandry are considered.

Keywords: pulse generator, IMPact ionization Avalanche Transit-Time diode, microbiological objects.

Введение

Биологическое действие ЭМИ связано с использованием высокостабильных по частоте генераторов, работающих в импульсном режиме. Применяемые в настоящее время в медицине и промышленности источники электромагнитного излучения работают в диапазоне частот 20...80 ГГц, но обладают высокой относительной нестабильностью выходной частоты $10^{-3}...10^{-4}$, высокой погрешностью установки несущей частоты 30...900 МГц, низкой монохроматичностью сигнала, малой выходной мощностью 2...5 мВт и поэтому не могут быть использованы для воздействия на микробиологические объекты животноводства [1,2].

Импульсные генераторы в диапазоне частот 10...100 ГГц находят широкое применение в современных радиоэлектронных системах различного назначения: в системах радиолокации, навигации, управления, в аппаратуре научного назначения.

Эти генераторы характеризуются большими уровнями импульсной мощности (десятки кВт), высоким быстродействием, специальной формой выходных сигналов [3].

Анализ предыдущих исследований

В настоящее время разработаны и выпускаются промышленностью электровакуумные и полупроводниковые импульсные приборы.

Основными критериями при выборе того или иного источника мощности импульсных колебаний mm диапазона являются: энергопотребление, габаритно-массовые характеристики, области применения, а также их стоимость, которая может составлять для электровакуумных приборов десятки тысяч долларов США.

Для исследования воздействия информационных импульсных колебаний на микрообъекты животноводства требуются малогабаритные, с малым потреблением энергии, импульсные источники мощности. Такие источники могут быть созданы на основе полупроводниковых приборов.

Характеристики импульсных полупроводниковых приборов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Полупроводниковые импульсные диоды

Тип диода	Частота, ГГц	Мощность выходная, Вт
3 А 750 А, Б, В, Г (ЛПД)	8...12	10...25
2 А 752 А, Б, В, Г (ЛПД)	70...80	3...6
3 А 760 А-4, Б-4 (ЛПД)	35...37	15...20
2 А 765 А-4 (ЛПД)	50...58	10
2 А 766 А-4 (ЛПД)	96...100	2...3
2 А 766 Н-4 (ЛПД)	96...100	≥ 10
3 А 727 А, Б, В, Г (ДГ)	35...55	0,5 – 0,8
3 А 740 А (ДГ)	80...100	0,05 – 0,15

Основная часть

Как видно из табл. 1, наиболее мощными полупроводниковыми приборами являются кремневые ЛПД. Эксплуатационные характеристики генератора на ЛПД (выходная мощность, частота, КПД, диапазон перестройки, качество спектра, надежность, уровень шумов), а также режим работы зависят не только от параметров ЛПД, но в значительной мере от типа резонансной системы.

Из-за неоднородности полупроводникового материала выпускаемые и разрабатываемые ЛПД имеют большой разброс основных параметров, а следовательно, и комплексного сопротивления. В связи, с чем непосредственные измерения комплексного сопротивления диода приобретают важное значение.

В миллиметровом диапазоне волн наибольшее распространение получили волноводные резонансные системы, т.к. в этом диапазоне их добротность выше, чем у коаксиальных и полосковых систем. Кроме того, в волноводных резонансных системах проще осуществлять механическую перестройку частоты и теплоотвод.

Для расчета электродинамических систем импульсных генераторов следует использовать метод эквивалентных схем по методике, изложенной в [4]. Методы эквивалентных схем обладают рядом преимуществ по сравнению со строгими электродинамическими методами, в частности, возможностью качественно судить о характере частотных характеристик, получить более простые выражения для инженерных расчетов резонансных систем.

Важной особенностью импульсного режима генераторов на ЛПД, которую необходимо учитывать при разработке, является изменение генерируемой частоты в пределах радиоимпульса, что приводит к частотной модуляции выходного сигнала.

Для генераторов на ЛПД в импульсном режиме целесообразен режим коротких импульсов тока питания, т.к. ЛПД характеризуются малой величиной тепловой временной постоянной и быстро разогреваются. Такой режим позволяет обеспечить тепловой режим диода и повысить значения плотности тока в несколько раз по сравнению с работой в непрерывном режиме. Строгое решение нестационарных тепловых задач является математически весьма сложным. Для ряда упрощенных моделей в литературе получены аналитические зависимости температуры активного участка ЛПД от времени [5].

Однако, эти зависимости для строго количественных оценок непригодны, т.к. в них не учтен такой существенный фактор, как изменение теплопроводности материалов с изменением температуры в рабочем интервале 300...500 К, которое весьма значительно. Кратковременный разогрев диода до температуры 300...500 приводит к резкой температурной зависимости импеданса диода и вызывает смещение генерируемой частоты импульсного генератора до 5% и изменение его выходной мощности до 2 дБ. Поэтому, расчет теплового режима импульсного генератора на ЛПД необходим для оценки его предельных возможностей по мощности, частоте и спектру выходного сигнала. При разработке генераторов на ЛПД в импульсном режиме также следует учитывать фазовые искажения спектра, возникающие при длительностях импульса, больших или соизмеримых со временем тепловой релаксации диода.

Таким образом на основе вышесказанного можно сделать вывод, что для разработки электромагнитной технологии, связанной с воздействием импульсного информационного ЭМП на сперматозоиды животных при их консервации, необходимы исследования по созданию импульсных генераторов на полупроводниковых приборах.

Список литература: 1.Каталог радиоизмерительных приборов 1991-1994гг. – М.: НИИСПР, 1995. – 386 с. 2. Звериховский И. В. Миллиметровые волны тепловой интенсивности в медицине / И. В. Звериховский // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. (Промышленность, АПК, медицина, фармация). – Одесса: ОКФА, 2000. – С. 159 – 164. 3.Petillo J. The Michelle threc-demisionel electron gun and collecton mode lingtool: theory and desing / J.Petillo, K. Eppley, D. Panagas // IEEE Trans. on Plasmer Science, 2002. – Vol. 30, №6. – PP. 1238 – 1261. 4.Левченко М.С. Определение параметров корпуса ЛПД на СВЧ / М.С. Левченко, В.М. Хахалкин // Труды учебных институтов связи. – Л.: ЛЭИС, 1976. Вып. 81. – С. 107 – 109. 5.Коваленко В.Ф. Введение в электронику сверхвысоких частот / В.Ф. Коваленко . – М.: Сов. Радио, 1955. – 344с.

Поступила в редакцию 20.04.2012

УДК 331.46:334.7(477)

I. В. МОСКАЛЮК, канд.техн.наук, в.о.доц., ОДАУ, Одеса,
Н. Н. САКУН, канд.техн.наук, доц., зав.каф., ОДАУ, Одеса

АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Наведено аналіз стану виробничого травматизму на підприємствах України. Встановлено, що найбільша кількість зареєстрованих нещасних випадків спостерігається в таких галузях виробництва, як вугільна, машинобудівна, агропромисловий комплекс.

Ключові слова: виробничий травматизм, нещасні випадки.

Приведен анализ состояния производственного травматизма на предприятиях Украины. Установлено, что наибольшее количество зарегистрированных несчастных случаев наблюдается в таких отраслях производства, как угольная, машиностроительная, агропромышленный комплекс.

Ключевые слова: производственный травматизм, несчастные случаи.

The analysis of the state of production traumatism is resulted on the enterprises of Ukraine. It is set that the most of the registered accidents is observed in such industries of production, as coal, machine-building, agroindustrial complex.

Keywords: production traumatism, accidents.

Дослідження, які наведені в статті, відносяться до галузі охорони праці. Розвиток промисловості та розширення виробництва у всьому світі супроводжується професійним травматизмом працівників внаслідок порушення техніки безпеки, нехтування засобів індивідуального захисту, невдосконалення технологій, машин, механізмів та інструментів, а також у зв'язку з незадовільною організацією виробничого процесу. До виникнення нещасних випадків та профзахворювань призводять також відсутність та недотримання фізіологічних режимів праці. Реальні виробничі умови є причиною виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів, наслідком яких є профзахворювання, нещасні випадки та травматизм, які призводять до матеріальних і моральних втрат та негативно позначаються на рівні життя населення.

Аналіз даних відносно травматизму за останні роки на підприємствах України свідчить, що існує проблема підвищеного травматизму і професійних захворювань, яку необхідно вирішувати.

Проведення аналізу найбільш травмонебезпечних галузей і виробничих процесів дозволить виявити напрямки роботи для попередження травматизму та збереження життя і здоров'я працівників.

Відомі в теперішній час інформаційно-аналітичні роботи, які пов'язані з аналізом виробничого травматизму, не дозволяють встановити причини, наслідком яких є виникнення травматизму. Відсутність таких даних перешкоджає

проведенню ефективної профілактики та розробці науково-обґрунтованих підходів до проблем її поліпшення.

Метою роботи є проведення статистичного аналізу стану виробничого травматизму в Україні по областях по різним найбільш травмонебезпечним галузям виробництва [1].

Під наглядом територіальних органів Держгірпромнагляду перебуває майже 870 тис. підприємств. Вони належать до різних форм власності та видів діяльності, які експлуатують майже 4 млн. виробничих об'єктів. Чисельність працівників, які зайняті на цих підприємствах, становить 14 млн. 386 тис. осіб.

В теперішній час в Україні у Фонді соціального страхування зареєстровано від нещасних випадків 1342278 підприємств, установ і організацій незалежно від їх форми власності та виду економічної діяльності.

Офіційна статистика стану виробничого травматизму в Україні за роки незалежності свідчить про суттєве стійке падіння виробничого травматизму, як загального, так і з летальним наслідком. Так, загальний травматизм у 2009 р. зменшився, порівняно з 1992 р., у 10 разів, а з летальним наслідком - майже у 4 рази, за рахунок автоматизації та механізації виробничих процесів.

В теперішній час загальна чисельність робітників на підприємствах і організаціях зменшилась майже на 30%, внаслідок чого спостерігається зменшення кількості травмованих на виробництві людей з 600 до 86 осіб, в тому числі з летальними наслідками - з 13 до 5 осіб. [2].

За результатами аналізу стану виробничого травматизму Міжнародної організації праці у світі офіційно зареєстровано тільки 1 смертельний випадок на 763 травмованих. Це свідчить про те, що значна кількість випадків травмування на виробництві з легким і середнім ступенем тяжкості приховується роботодавцями від розслідування і обліку.

Таке масове приховування випадків травмування працюючих на виробництві або переведення їх в категорію травм, «не пов'язаних з виробництвом» звільняють керівника від проведення профілактичних заходів щодо створення здорових і нешкідливих умов праці, а Фонд соціального страхування - від необхідності компенсацій на відновлення здоров'я потерпілим. Сотні тисяч травмованих і їх сімей щорічно залишаються незахищеними від наслідків нещасних випадків, що призводить до зростання соціальної напруги у суспільстві.

Кількість травмованих осіб за 2010 р. у порівнянні з 2009 р. зменшилася на 3,9 %, в той час як кількість смертельно травмованих - знизилась на 8,1 %.

Значне зниження виробничого травматизму зареєстровано в таких регіонах України, як Волинська область – на 19 %, Тернопільська – на 20 %, Хмельницька - на 20 % та м. Севастополь – на 22 %.

Проте, в деяких регіонах спостерігається збільшення виробничого травматизму, зокрема, у Полтавській області - на 26 %, Черкаській – на 10 %, Харківській – на 3 %. Результати аналізу обліку нещасних випадків на виробництві по областях України наведені на рис. 1.

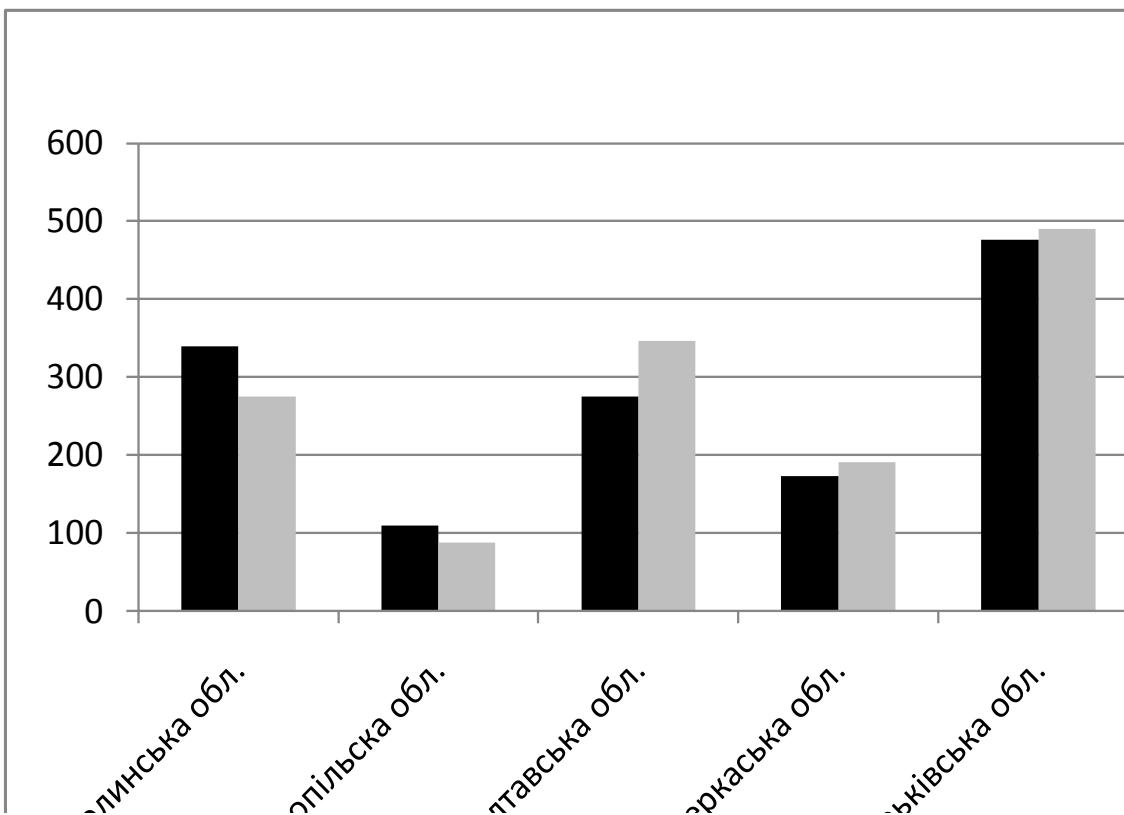


Рис. 1. Стан виробничого травматизму по областях України за 2009 – 2010 роки

Найбільша кількість страхових нещасних випадків зареєстровано у Донецькій (36,2 %), Луганській (14,2 %) і Дніпропетровській (7,6 %) областях. Кількість травмованих осіб досягає 58 % від загальної кількості нещасних випадків по Україні.

Особлива увага приділяється травмам на виробництві у стані алкогольного сп'яніння, внаслідок чого травмується 1 % працюючих від загальної кількості травмованих по Україні. Зареєстровано також 58 випадків з летальним наслідком при виконанні таких робіт, як вирощування зернових та технічних культур - 25 травмованих осіб, при будівництві житлових будинків – 12 осіб, будівництві автострад, доріг, вулиць, залізниць та при підземному видобуванні кам'яного вугілля - по 4 особи тощо.

Якщо протягом останніх п'яти років в Україні спостерігається тенденція до зниження виробничого травматизму, то ситуація з професійними захворюваннями залишається нестабільною, а їх рівень досить високим.

Аналіз професійної захворюваності по галузям промисловості свідчить, що найвищий рівень профзахворювань спостерігається у вугільній, металургійній та машинобудівній галузях.

Результати аналізу профзахворювань на виробництві у 2010 році, порівняно з 2009 роком, свідчить, що кількість випадків зменшилась майже на 18 %.

Найбільша кількість професійних захворювань зареєстрована у Донецькій (28,8 %), Луганській (26,6 %), Дніпропетровській (19,7 %) і Львівській (10,5 %) областях. Кількість профзахворювань в цих областях складає близько 85,6 % від

їх загальної кількості по Україні, що пов'язано з розвитком важкої промисловості в цих регіонах.

Збільшення росту зареєстрованих професійних захворювань відмічається у Вінницькій області – на 6 випадків, в Закарпатській – на 3 випадки, що пов'язано з широким застосуванням пестицидів, мінеральних добрив, нехтуванням засобів індивідуального захисту в сільськогосподарській галузі.

Домінуючими причинами, які пов'язані з несприятливими умовами праці у цих галузях економіки, є недосконалі технології, використання застарілого обладнання, машин і механізмів, їх несправність. Також до причин, що призводять до нещасних випадків на виробництві, відносяться нехтування працюючими засобів захисту та використання їх не по призначенню, порушення правил охорони праці, режимів праці і відпочинку.

Кількість нещасних випадків зі смертельним наслідком, в 2010 році, у порівнянні з 2009 роком, зменшилась у вугільній промисловості на 35 %, металургійній промисловості - на 37,5 %, нафтогазодобувній промисловості - на 30 %, котлонагляду - на 7,1 %, агропромислового комплексу - на 25 %, хімічній промисловості - на 42,8 %, житло-комунального господарства - на 8,1 %, будівельній - на 0,64 %, у легкій та текстильній промисловості - на 20 %, соціально-культурній сфері та торгівлі – на 20,6 %. Проте збільшилась кількість нещасних випадків зі смертельним наслідком на підприємствах транспорту – на 8,4 %, газопостачання - на 87 %, машинобудування - на 4 %, гірнорудній промисловості - на 2,4 %, енергетики - на 2,7 % та деревообробчій промисловості - на 10 %. Результати статистичного аналізу виробничого травматизму по різним галузям виробництва наведено на рис. 2.

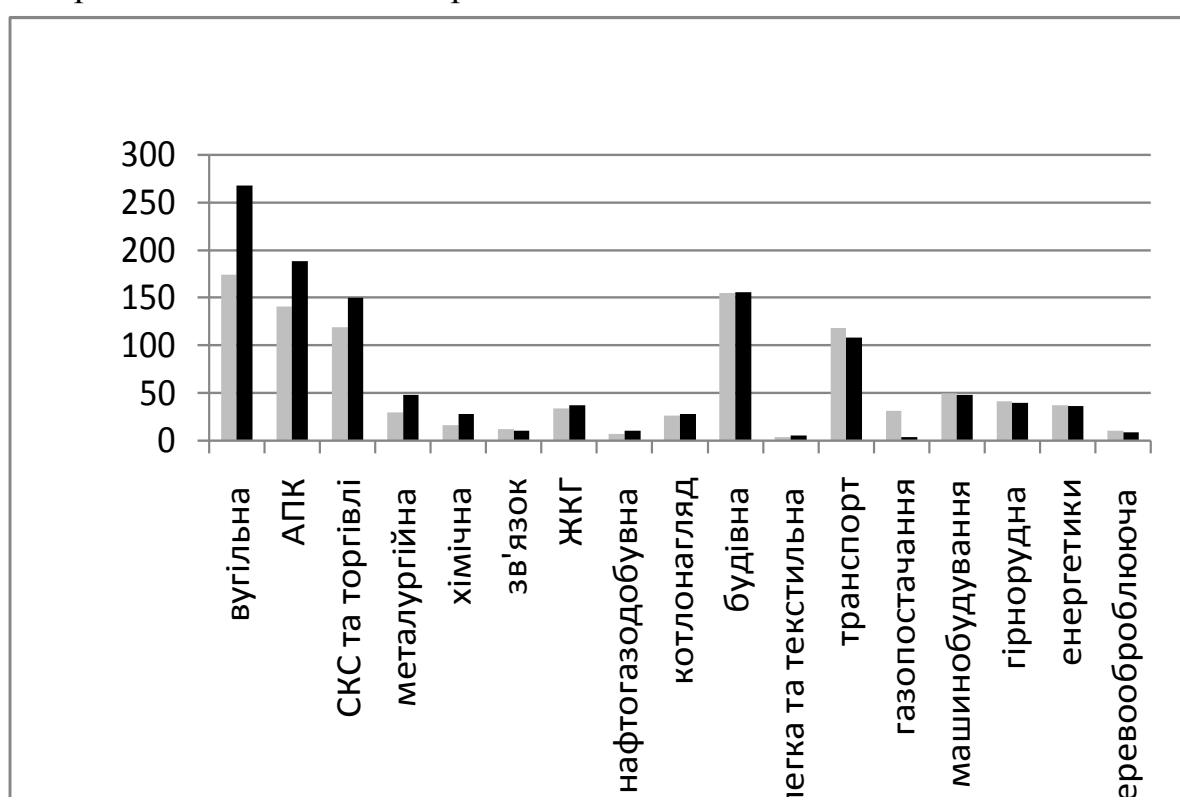


Рис. 2. Статистичний аналіз виробничого травматизму по різним галузям виробництва.

Наведені дані свідчать, що проведення профілактичних заходів відносно виробничого травматизму знаходиться на низькому рівні. В теперішній час на відшкодування збитків потерпілим витрачається в 5-7 разів більше коштів, ніж на покращення умов праці. Виплати Фонду соціального страхування на відшкодування збитків потерпілим досягають майже 1,8 млд. грн. щорічно.

Згідно до ст.13 Закону України «Про охорону праці» на керівника покладена відповідальність за створення на робочих місцях безпечних умов праці. Одним із заходів впливу на роботодавців є притягнення їх до адміністративної відповідальності (штрафу), який складає від 238 до 4000 грн. Ці кошти не є суттєвими для роботодавця, тому йому вигідніше заплатити штраф, ніж направляти кошти на придбання нового обладнання, засобів індивідуального захисту або навчання працюючих безпечним методам праці. Тому кількість порушень законодавства нормативних актів з охорони праці зростає з кожним роком.

Однією із найбільш серйозних проблем виробничого травматизму являється залучення до виконання робіт працівників без оформлення трудових відносин. Як наслідок, роботи підвищеної небезпеки виконуються саме цією категорією робітників, і вони не мають права на соціальний захист, а роботодавець не несе ніякої відповідальності за наслідки нещасних випадків.

Тому ніхто не знає точно, скільки людей кожний рік отримують виробничі травми в Україні. Роботодавці приховують випадки травматизму, навіть з летальним наслідком. Заступник голови Федерації профспілок України на парламентських слуханнях у Верховній Раді оголосив про результати виявлення прихованих нещасних випадків по Україні. Встановлено, що за один рік було приховано від розслідування і обліку 680 нещасних випадків, з яких 6 - з летальним наслідком. Але гірше всього те, що роботодавці не оформлюють трудові відносини з працюючими. За оцінкою профспілок, не менше 2 млн. осіб, які числяться як непрацюючі, працюють у шкідливих умовах з не оформленими трудовими відносинами.

Особливу увагу необхідно приділяти травматизму за напрямом машинобудування. На підприємствах машинобудування постійно зростає клас професійного ризику, а значна кількість підрозділів взагалі працюють за межею професійного ризику. У теперішній час галузь машинобудування відноситься до найбільш травмонебезпечної галузі економіки.

В сучасних умовах в машинобудівній галузі спостерігається складне фінансове становище, що призводить до невідповідності вітчизняної техніки вимогам нормативних актів з охорони праці. На підприємствах експлуатуються машини та механізми, термін експлуатації яких закінчився. В галузі втрачено систему управління охороною праці, виники складнощі у кваліфікованому обслуговуванні механізмів і машин, що є наслідком переходу державних підприємств у приватну власність.

На більшості підприємств питанням охорони праці приділяється певна увага як роботодавцями, так і профспілковими комітетами. Але є такі керівники підприємств, які вважають, що, сплативши до Фонду соцстраху від нещасних випадків символічний тариф у розмірі 0,2 % від фонду заробітної плати, вони

вирішили всі проблеми безпеки праці на підприємстві та в організації. У працівників галузі машинобудування також незадовільно вирішується питання кадрового і фінансового забезпечення охорони праці.

Проблема охорони праці за напрямом машинобудування є однією з найгостріших у країні, хоча статистика свідчить, що за останні п'ять років виробничий і загальний травматизм знизився більше ніж удвічі. Це пояснюється значним зменшенням кількості працюючих на підприємствах, а також відтоком трудового ресурсу у приватний сектор. Але рівень виробничого травматизму на підприємствах машинобудування залишається високим і може бути порівняний лише з травматизмом у вугільній галузі. За даними Держгірпромнагляду, за 2005 - 2009 роки на виробництві отримали травми майже 10318 осіб, у тому числі летально травмовано 878 осіб. Майже щодня травмується п'ять працівників, у тому числі один – смертельно. Отже, реальний стан травматизму в галузі машинобудування не відповідає офіційним статистичним даним. Роботодавці не проводять заходи щодо поліпшення умов праці.

На охорону праці за рік на 1 працюючого на виробництві витрачається менше 100 грн., що не може створювати умови для зниження травматизму. Якщо проаналізувати не тільки абсолютні показники травматизму, але і відносні, видно, що коефіцієнт частоти, а також коефіцієнт важкості травматизму, дають більш повний і об'єктивний аналіз стану щодо травматизму не тільки в галузі машинобудування, але і в цілому по державі. При зменшенні коефіцієнту частоти травматизму в галузі машинобудування з 1,24 до 1,17, спостерігається збільшення коефіцієнту важкості травматизму з 40,7 до 42,8.

Аналіз статистичних даних за останні п'ять років свідчить, що виробничий травматизм приховується від розслідування нещасних випадків на виробництві. На основі статистичних досліджень бачимо, що до 35% загального і смертельного травматизму, що трапляється на виробництві в галузі машинобудування, не пов'язані з виробництвом, що підтверджується даними профспілок.

Вивчення матеріалів спеціальних розслідувань нещасних випадків дає можливість встановити необ'єктивні висновки комісії, які займалися з'ясуванням причин і наслідків травматизму на виробництві. При порівнянні даних на рівні району щодо травматизму медичних закладів і відділень Фонду соцстрахування, існує можливість виявити приховані від розслідування нещасні випадки на виробництві. Якщо за легалізований нещасний випадок роботодавець несе символічну відповідальність (часто за смертельний випадок це штраф у сумі 10 неоподаткованих мінімумів – 170 грн.), то за приховання нещасного випадку роботодавцю взагалі штрафів не нараховують. Приховання нещасних випадків позбавляє потерпілого та його сім'ю від соціального захисту і підтримки. В теперішній час у структурі Держгірпромнагляду вводиться спеціальний штатпрацівників, який буде займатися аналізом розслідування нещасних випадків та робити відповідні висновки [3;4]. Держгірпромнагляд постійно організує цільові перевірки підприємств щодо безпеки праці охоронників в різних галузях виробництва.

Державними інспекторами по нагляду за охороною праці в галузі машинобудування за 2009 р. проведено 19 тис. оперативних перевірок на підприємствах. Наслідком цих перевірок є призупинення праці понад 28 тис. об'єктів. До адміністративної відповідальності притягнуто 12293 працівників, з них 4270 - керівників підприємств. Протягом 2009 р. в галузі машинобудування травмовано 1238 працівників, що на 27 % менше, ніж за 2008 р. Результати статистичного аналізу виробничого травматизму у галузі машинобудування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Статистика виробничого травматизму у галузі машинобудування

Роки	Травмовані протягом 2005 – 2010 р. р., осіб	
	Загально травмовано	В т. ч. летально травмовано
2005	2907	236
2006	2502	198
2007	2165	188
2008	1704	144
2009	1238	112
2010	1102	102

На основі статистичних даних можна зробити висновок, що спостерігається зменшення виробничого травматизму і смертельних випадків на виробництві. У 2008 р. загинуло 144 працівника, що на 29,2 % людей більше, ніж у 2010 року.

Найбільш травмонебезпечними є такі категорії працівників, як механізатори, водії, охоронники. Основними причинами нещасних випадків є порушення вимог інструкцій з охорони праці та правил дорожнього руху.

Зокрема, в Одеській області існує 21328 піднайдядових суб'єктів господарювання, виробничих об'єктів – 164265, зареєстрованих об'єктів підвищеної небезпеки – 390. Посадовими особами органів нагляду призупинялася на деякий термін експлуатація майже 13937 об'єктів. До адміністративної відповідальності за порушення вимог чинного законодавства з охорони праці притягнуто 4345 працівників, у тому числі 1349 керівників. Сума штрафів становила понад 348 тис. грн.

У 2009р. кількість нещасних випадків загального травматизму зменшилась на 33,2 %. Кількість нещасних випадків зі смертельними наслідками, порівняно з минулим роком, зменшилась на 14,7 %, з яких смертельно травмовано 29 осіб, в той час як за 2008 р. було травмовано 34 особи.

Таким чином, травматизм на виробництві стає національно небезпечним явищем. Він не тільки завдає багато горя і страждань конкретним людям та їх родинам, а й безпосередньо впливає на економіку країни, бо особисті трагедії негативно позначаються на рівні життя всього народу.

Покращення умов праці та її безпечність спрямовані до зниження виробничого травматизму, професійних захворювань, інвалідності, що не тільки зберігає здоров'я працюючих, але й одночасно призводить до зменшення витрат на оплату пільг та компенсацій за роботу в небезпечних умовах праці, скорочення виплат тимчасовій та постійній непрацездатності, на лікування, перепідготовку

працівників виробництва у зв'язку з текучостю кадрів по причинах, які пов'язані з умовами праці [3].

Список літератури: 1. Кононова, І. П. Профзахворюваність серед працівників підприємств машинобудування / І. П. Кононова // Охорона праці. — 2010. — № 1. — С. 46 — 47. 2. Басанець А. Профзахворюваність — актуальна проблема сучасності / А. Басанець, І. Луб'янова, Д. Тімошина // Охорона праці. — 2010. — № 2. — С. 42 — 45. 3. Такала Ю. Оценка мирового рівня производственного травматизма // Охрана труда: Информационно-аналитический бюллетень. — М.: Министерство труда и социального развития России. — 2000. — Вып. 4. — С. 21 — 33. 4. <http://www.mns.gov.ua/opinfo/>.

Поступила в редколлегию 02.04.2012

СОДЕРЖАНИЕ

Т.С. Салыга, А.В. Красильник	3
Динамический анализ гидравлического управления мотовилом зерноуборочного комбайна	
Е.Н. Михайлута	8
Стационарное деформирование оболочки с упругим соединением слоев	
Т.Н. Ковшанова, В.Н. Левченко	17
Исследование процесса горячей объемной штамповки детали типа «крышка» с использованием системы конечно-элементного моделирования	
Г. І.Хімічева, А. С.Зенкін, А. В.Баланюк	21
Методика оцінки вартісних характеристик однорідної продукції	
Е.В. Волченко, В.С. Степанов	26
Метод w-MIEF построения рабочего словаря признаков на основе взвешенных обучающих выборок	
Н.У. Гюлев, В.К. Доля	33
Модель изменения функционального состояния водителя-флегматика в транспортном заторе	
А.В. Дорожан, А.А. Астраханцев, О.О. Вовк	37
Исследование характеристик методов скрытия с использованием нзб на фоне аддитивного шума	
В.В. Залкінд	41
Перспективи застосування інформаційних технологій при визначенні якості одягу	
Л.С. Абрамова, И.С. Наглюк, С.В. Капинус	45
Анализ структуры систем поддержки принятия решений в АСУДД	
Т.В. Климова	51
Иерархия принятия решений при предпроектной оценке предприятия и условия отбора проектов	
Ю.Г. Качан, В.Л. Коваленко, А.Г. Лохматов	58
Перевірка адекватності моделі системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств	

В. Г. Кузнецов, К. А. Калашников	62
Исследование факторов, определяющих величину потерь мощности в тяговой сети	
Ю.М. Терещенко, І.О. Ластівка	67
Дослідження впливу активного управління обтіканням на характеристики дифузорних компресорних решіток	
А. В. Приходько	73
Уменьшение влияния методических погрешностей при автоматическом определении технико – экономических показателей (ТЭП) энергооборудования ТЭС	
И.Ф. Червоный, Е.Я. Швец, Ю.В. Головко, С.Г. Егоров	79
Туннельная кристаллизация кремния, германия	
А.П. Мельник, В.Ю. Папченко, Т.В. Матвєєва, С.Г. Малік, С.О. Крамарев	85
Дослідження одержання кисень-, азотовмісних похідних жирних кислот амідуванням соняшникової олії	
В.В. Штамбург, С.А. Паненко, А.В. Мазепа, А.Е. Шишко, В.Б. Дистанов, В.Г. Штамбург	88
Синтез дибромидов 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-диоксаоктанов и родственных соединений	
С.О.Петров, В.Б.Дістанов, А.Г.Бєлобров	91
Оптимізація умов синтезу похідних оксазолонів	
О.А. Глотка, А.Д. Коваль, В.Л. Грешта	95
Порівняльний аналіз структурно-фазового стану феровольфраму та брухту системи W-Ni-Fe	
Ф.Г. Фабуляк, Л.Д. Масленнікова, К.С. Недайхліб	98
Вплив модифікованого каоліну на молекулярну рухливість і електропровідність полізопрену	
А.А. Нестер, С.П. Демчик	103
Модель фільтровання	
В.А. Пархомчук, Б.О. Яхно	107
Визначення товщини і густини зрошення плівки, яка стикає під дією гравітаційних сил, на конічних поверхнях	

В.В. Шмельков, М.А. Щейтлин, В.Ф. Райко	111
Состав конденсатов, образующихся при охлаждении газов дистилляции в производстве соды	
Г.Б. Варламов, Ю.Н. Камаев, П.О. Позняков, Д.Н. Юрашев	117
Модернизация горелочной системы газотурбинного двигателя ДН80 с использованием трубчатой технологии газосжигания	
Ф.Г. Фабуляк, Л.Д. Масленікова, Н.В. Колоніарі, К.Д. Пижова	126
Модифікація поліізопренового покриття диметакрилаттриєтиленгліколем	
В.І. Грідасов, Н.М. Тимченко, Л.Г. Зайцева	134
Новітні технології виробництва продукції ВРХ	
Н.П. Кунденко, А.Д. Черенков	137
Алгоритм расчета диффузного потока к поверхности сфероида, моделирующего спермий	
М. С. Сорокин, А.Д.Черенков	141
Анализ технических устройств электромагнитного излучения для воздействия на микробиологические объекты животноводства	
И. В. Москалюк, Н. Н. Сакун	145
Аналіз стану виробничого травматизму на підприємствах України	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №18

Науковий редактор докт. техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

Обл.-вид. № 52-12

Підписано до друку 27.04.2012. Формат 60x84/16. Надруковано на різографі
Gestetner 6123СР. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.
Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. №18. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ»
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Типографія "Технологічний центр"
вул. Новгородська, 3а, м. Харків, 61145