

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

# **ВІСНИК**

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

*Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"*

**№ 14 (1123) 2015**

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2015

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

Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. –  
Х.: НТУ „ХПІ» – 2015р. - №14(1123) – 134 с.

### **Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**

**КВ №5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською та російською мовами.

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

### **Координаційна рада:**

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

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

А. П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є. І. СОКОЛ, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.; А. В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф.; М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; А. І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В. Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.; В. Д. ДМИТРИЄНКО, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. ДОМНІН, д-р техн. наук, проф.; В. В. ЄПІФАНОВ, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, проф.; П. О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.; В. Б. КЛЕПІКОВ, д-р техн. наук, проф.; С. І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф.; В. І. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Г. В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф.; О. К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; В. І. НІКОЛАЄНКО, канд. іст. наук, проф.; П. Г. ПЕРЕРВА, д-р екон. наук, проф.; В. А. ПУЛЯЄВ, д-р техн. наук, проф.; М. І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.; Г. М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. ТИМОФІЄВ, д-р техн. наук, проф.; М. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

### **Редакційна колегія серії:**

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

**Відповідальний секретар:** Р. С. Томашевський, канд. техн. наук, доц.,

К. О. Костик, канд. техн. наук, доц.

**Члени редколегії:** Л. Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; Б. В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.; О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.; Г. І. Львов, д-р техн. наук, проф.; Н. Н. Олександров, д-р техн. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; М. І. Погорелов, канд. екон. наук, проф.; Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; Р. Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Терзіян, д-р техн. наук, проф.; В. І. Тошинський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.

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

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”  
Протокол № 3 від «26» березня 2015 р.

©Національний технічний університет „ХПІ”, 2015

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ  
УПРАВЛІННЯ

УДК 681.518:004.312

ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО СЧЕТЧИКА  
ФИБОНАЧЧИ В МИНИМАЛЬНЫХ КОДАХ

А. А. БОРИСЕНКО, С. М. МАЦЕНКО\*, В. В. ГРИНЕНКО, О. В. БЕРЕЖНАЯ, С. А. ДЕГТЯР

СумГУ, Сумы, УКРАИНА  
\*email: s.matsenko@mail.ru

**АННОТАЦИЯ** У даній роботі проведена оцінка швидкодії Фібоначієвого лічильника імпульсів, що працює в мінімальних кодах Фібоначчі, отримані для нього відповідні вирази. Швидкодія лічильника Фібоначчі визначається максимальним часом перехідних процесів між двома сусідніми станами лічильника, зворотна величина до якого задає максимальну припустиму тактову частоту лічильника. Однак оцінка швидкодії такого лічильника Фібоначчі досі не була проведена. Тому в даній роботі ставиться завдання такої оцінки.

**Ключові слова:** фібоначієві числа, лічильник Фібоначчі, апаратурні витрати, швидкодія, завадостійкість.

**АННОТАЦИЯ** В данной работе произведена оценка быстродействия фибоначчьевого счетчика импульсов, работающего в минимальных кодах Фибоначчи, получены для него соответствующее выражение. Быстродействие счетчика Фибоначчи определяется максимальным временем переходных процессов между двумя соседними состояниями счетчика, обратная величина к которому задает максимальную допустимую тактовую частоту счетчика. Однако оценка быстродействия такого счетчика Фибоначчи до сих пор не была произведена. Поэтому в данной работе ставится задача такой оценки.

**Ключевые слова:** фибоначчьевые числа, счетчик Фибоначчи, аппаратурные затраты, быстродействие, помехоустойчивость.

PERFORMANCE EVALUATION OF NOISE IMMUNITY FIBONACCI COUNTER  
IN MINIMALLY CODES

A. BORYSENKO, S. MATSENKO\*, V. HRYNENKO, O. BEREZHNA, S. DEHTIAR

Sumy State University, Sumy, UKRAINE

**ABSTRACT** In this paper we evaluated the performance of the Fibonacci pulse counter running in minimal Fibonacci codes, obtained the corresponding expression. There is no transfers in the counter and it enhance its performance compared with other types of counters, which have transfers and more complex structure. Furthermore, in this counter homogeneous structure is observed, which Fibonacci counters requiring back additional circuitry to implement the transition from the minimum to the maximum mold form and vice versa. Speed of the Fibonacci counter is determined by the maximum time of transients between the two neighboring states of the counter, the return of value which specifies the maximum allowable clock frequency of the counter. However, the evaluation of the performance of such Fibonacci counter still was not done. Therefore, in this paper, the task of such estimates.

The shown estimates imply that with increase in the number of bits of the Fibonacci counter signal delay in it increases that can be attributed to a lack of the counter structure. However, the absence of transfers in the counter compensates to some extent for this deficiency. Performance of this counter also will be higher relative to the Fibonacci counters constructed on scan and convolution circuits, as such circuits are absent in this counter. Novelty and relevance of the proposed in the article approach to solving this problem is to find the corresponding expressions for assessing Fibonacci counter largest time delay of signals in logic circuits of the device.

**Keywords:** Fibonacci numbers, Fibonacci counter, hardware resources, performance, error detection

**Введение**

Задача помехоустойчивого цифрового счета была поставлена давно и решалась она по-разному, но в ее основе, как правило, лежала

двоичная система счисления [1]. Появление более сложных системы счисления, чем двоичная, например—фибоначчиевой и биномиальной, которые по своей природе

является помехоустойчивыми, привело к созданию фибоначиевых и биномиальных помехоустойчивых устройств [2-7]. Они, кроме самостоятельного применения, также предназначались еще и для компьютеров Фибоначчи общего и специального назначения, как их важный компонент, что придает особое значение проектированию таких счетчиков [8-10].

Особенностью фибоначиевых чисел является то, что их весовые значения определяются числами Фибоначчи, которые идут в порядке 1, 2, 3, 5, 8, ... . Поэтому, например, фибоначиевое число  $010001 = 2 + 8 = 10$ . Диапазон перебираемых чисел фибоначиевым счетчиком будет равен сумме весовых значений двух старших разрядов. В приведенном выше примере он равен  $5 + 8 = 13$ .

### Цель работы

В работе [11] предлагался суммирующий помехоустойчивый счетчик Фибоначчи с алгоритмом счета, работающим в минимальных кодах и с простой однородной структурой. В данном счетчике отсутствуют переносы, что повышает его быстродействие по сравнению с другими типами счетчиков, содержащих переносы и обладающими более сложной структурой. Однако оценка быстродействия такого счетчика Фибоначчи до сих пор не была произведена. Поэтому в данной работе ставится задача такой оценки.

### Помехоустойчивость фибоначиевых кодов

Для фибоначиевых кодов имеется принципиальное ограничение, запрещающее находится рядом двум и более единицам, то есть единицы в них должны обязательно разделяться нулями [2,3]. Нарушение этого запрета является признаком ошибки. Поэтому счетчики Фибоначчи по своей природе являются помехоустойчивыми, в чем и состоит их важное преимущество перед двоичными счетчиками.

### Описание алгоритма работы счетчика

Смена фибоначиевых кодов в счетчике Фибоначчи определяется алгоритмом, в котором единица заносится в правый разряд, стоящих рядом двух младших нулевых разрядов числа [2]. При этом все последующие младшие разряды счетчика, идущие за этой

единицей, если они есть, обнуляются. Например, числом в счетчика, следующим после нулевого числа  $0000 \dots 0$ , будет  $0000\dots 01$ . В данном случае за 1 нет обнуления, так как она образует последний разряд фибоначиевого кода. За этим кодом следует  $0000\dots 010$ . В нем единица появляется в последнем справа нуле предыдущего кода перед 1, а следующая за этим нулем единица преобразуется в 0. И так идет до появления наибольших фибоначиевых кодов  $0101 \dots 01$  при четном количестве разрядов в счетчике, или до  $1010 \dots 10$  для нечетного количества разрядов в нем. Далее перебор фибоначиевых кодов заканчивается, так как в них отсутствуют два и более нуля, в младший разряд которых могла бы быть занесена единица. Затем при необходимости начинается счет сначала.

### Описание работы счетчика

На рис. 1 показан пример суммирующего пятиразрядного счетчика Фибоначчи, который перебирает в возрастающем порядке все свои возможные состояния, соответствующие фибоначиевым кодам [2]. Например, для приведенной выше схемы счетчика такими кодами будут  $00000$ ,  $00001$ ,  $00010$ ,  $00100$ ,  $00101$ ,  $01000$ ,  $01001$ ,  $01010$ ,  $10000$ ,  $10001$ ,  $10010$ ,  $10100$ ,  $10101$ . Счет начинается с нулевого состояния  $00000$  и идет до наибольшего для данного счетчика фибоначиевого кода  $10101$ , соответствующего обычному десятичному числу 12.

Счетчик в своей структуре содержит: блок контроля 1, обнаруживающий ошибки в работе счетчика, блок диспозиций 2, обнуляющий триггеры счетчика после установки очередной 1, блок анализа 3 выходов триггеров счетчика, регистр 4 со схемами управления триггеров И для хранения состояний счетчика, блок установки нулей 5, предназначенный для установки в нулевое состояние триггеров счетчика (см. рис. 1).

В начале работы счетчика все триггеры регистра 4 находятся в нулевом состоянии  $0000 \dots 00$ . В результате на все управляющие схемы И регистра 4, за исключением схемы И нулевого разряда, подается запрещающий сигнал на занесение единиц в триггеры. Поэтому ни один триггер по тактовому сигналу не сможет установиться в 1 за исключением триггера младшего разряда, в котором нет предшествующего триггера, а значит и запрещающего сигнала с его прямого выхода. В

результате такого запрещения по первому тактовому импульсу счетчик из состояния 0000 ... 00 перейдет в состояние 0000 ... 01.

В соответствии с приведенным выше алгоритмом фибоначчьевого счета весь ряд триггеров просматривается справа налево по возрастанию разрядности, среди них находятся первые два соседних триггера, установленные в нуль.

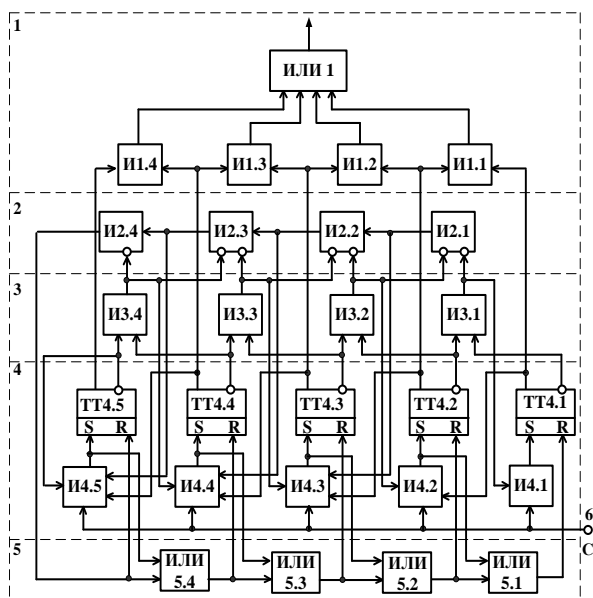


Рис. 1 – Счетчик Фибоначчи

Далее в младший триггер из этих двух по приходе тактового импульса должна занестись 1. Для решения указанной задачи нужно проверить состояния всех триггеров счетчика без исключения. Эту функцию выполняет блок анализа 3, который проверяет состояния триггеров двухвходовыми схемами И по парам. Те из них, которые имеют на своих двух входах единицы с инверсных выходов триггеров, находящихся в нулевых состояниях, дают разрешающие сигналы на управляющие схемы И регистра 4. В результате организовывается возможность перехода соответствующих им триггеров в единичное состояние. Однако таких сигналов, подающихся на управляющие схемы И регистра 4, может быть несколько, а в соответствие с алгоритмом только один триггер может установиться в 1, и соответственно только одна из управляющих схем может быть открыта.

Выбрать ее помогает блок диспозиций 6, содержащий последовательно включенные схемы И с тремя входами, два из которых через инверторы подключаются к выходам схем И блока анализа 3. В его задачу входит выработка

дополнительного открывающего сигнала на одну из управляющих схем И регистра 4. Она устанавливает младший триггер из двух, в стоящем справа ряде триггеров, предварительно установленных в нулевое состояние. Например, триггер из схемы рис.1 стоит в состоянии 10010. Тогда занесение 1 должно произойти в триггер второго разряда, и при этом в соответствие с алгоритмом должен произойти сброс всех остальных триггеров справа (младших разрядов) в 0. В результате осуществляется переход в состояние 10100.

Сброс триггеров по сигналу с блока диспозиций 3 в нулевое состояние осуществляет блок установки в нуль 5. В его задачу входит после установления единичного состояния в одном из триггеров регистра 1, стоящего ранее в нуле, обнуление всех младших по отношению к нему триггеров. Его работа с очевидностью видна из рис.1. Более подробно работа счетчика рассмотрена в работе [11].

### Оценка быстродействия счетчика

Быстродействие счетчика Фибоначчи (см. рис. 1), как, впрочем, и счетчика любого другого типа, определяется максимальным временем переходных процессов между двумя соседними состояниями счетчика, обратная величина к которому задает максимальную допустимую тактовую частоту счетчика.

Только при наличии тактовой частоты не большей максимально допустимой гарантируется надежная работа счетчика без сбоев, хотя для правильной работы счетчика имеет значение также еще и время действия тактового импульса. Его длительность должна быть не меньше длительности переходных процессов, необходимых для установки всех триггеров счетчика в требуемое состояние.

Из схемы счетчика Фибоначчи, представленного на рис. 1, и описания ее работы с очевидностью следует, что наибольшее время переходных процессов будет в случае, когда сигнал установки счетчика в новое состояние последовательно пройдет все схемы И блока диспозиций 6, схему И и все схемы ИЛИ блока установки нуля 5.

Распространение сигнала по такому длинному пути будет только в том случае, когда будет наблюдаться переход счетчика из состояния с наибольшим числовым значением в нулевое состояние. В рассматриваемом случае для счетчика Фибоначчи это будет

переход из состояния 1010...10 или 0101 ... 01 в 0000...00, так как только в этом случае будет наблюдаться переход всех триггеров счетчика, стоящих в единичном состоянии, в нулевые состояния.

Время работы счетчика разделим на два периода. Первый определяется суммарным временем установки триггеров второй ступени регистра 4 в требуемые состояния и временем распространения сигналов в логических схемах И, НЕ блоков анализа 3 и диспозиций 2 счетчика после исчезновения тактового импульса. Второй период определяется временем распространения сигналов в блоке установки нуля 5 и временем изменения состояний триггеров первой ступени во время действия тактового импульса. Это время определяет минимально допустимую длительность тактовых импульсов. В сумме эти периоды определяют время перехода счетчика из одного состояния в другое, а значит, определяют максимальную тактовую частоту.

Рассмотрим задержку сигнала, которая возникает при переходе счетчика Фибоначчи из последнего состояния 1010...10 или 0101 ... 01, соответствующего его максимальному числу, в исходное (нулевое) состояние 0000...00. При нахождении счетчика в состоянии 1010...10 или 0101 ... 01 с его инверсных выходов снимаются нулевые сигналы, которые запирают все схемы И блока анализа 3. Это происходит потому, что инверсный выход каждого триггера регистра 4 связан со вторым входом схемы И одноименного разряда и одновременно с первым входом схемы И соседнего старшего разряда. Поэтому на выходе схем И блока анализа 3 одновременно появляются нулевые сигналы, которые через инверторы, стоящие на первых входах схем И блока диспозиций 2, подаются в виде единичных разрешающих сигналов на эти входы и одновременно на вторые инверсные входы схем И предшествующих разрядов данного блока. В результате все схемы И блока диспозиций 2 оказываются открытыми. Поэтому подготовительный сигнал для установки триггеров в ноль с крайней справа схемы И свободно проходит через все схемы И этого блока и дает разрешение на открытие входной схемы И блока установки нуля 5.

Очевидно, что при нахождении счетчика в состояниях 1010...10 или 0101 ... 01 суммарное время задержки сигнала в блоке диспозиций 6 будет равно сумме задержек в логических схемах И. Его значение равно  $(n-1)\tau_u$ . При этом время  $\tau_u$  представляет собой время задержки

элементом И управляющего сигнала. Суммарное время задержки является максимальным, так как при любом другом состоянии счетчика сигнал от младшего разряда распространяется через меньшее число схем И в блоке диспозиций 2. Например, если счетчик перешел в состояние 0000...10 из состояния 0000 ... 00, то суммарная задержка сигнала с выходов младших двух триггеров будет состоять из суммы двух задержек - задержки сигнала  $\tau_u$  на первой схеме И блока анализа 3 и задержки  $\tau_{не}$  на инверторе первой схеме И блока диспозиций 2.

Исходя из вышесказанного максимальная задержка сигнала после установления счетчика в конечное состояние 1010...10 или 0101 ... 01

$$t_{\max} = (n-1)\tau_u + \tau_u + \tau_{не} = n\tau_u + \tau_{не} \quad (1)$$

Из приведенного равенства с очевидностью следует, что задержка сигнала установки состояния счетчика линейно зависит от числа  $n$  разрядов счетчика, и с его ростом только увеличивается.

Однако к этому времени следует добавить время переписи состояний из основных триггеров в дополнительные триггеры в двухступенчатых триггерах RS-типа [6], из которых состоит регистр 4. Задержка сигнала в двухступенчатом RS-триггере (см. рис. 2) состоит из суммы двух задержек в первой и второй ступени.

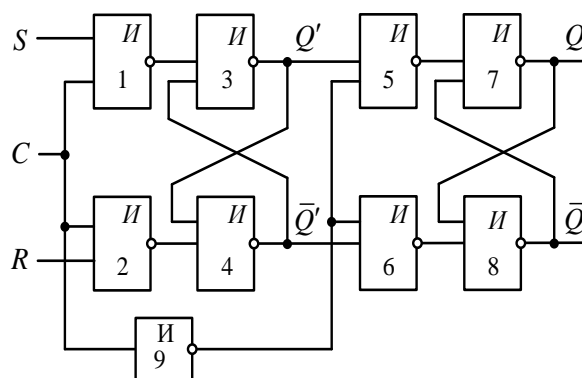


Рис. 2 – Двухступенчатый RS-триггер

Задержка в первой ступени триггера равна  $2\tau_u + 2\tau_{не}$ , а во второй -  $3\tau_u + 3\tau_{не}$ . Соответственно задержка триггера во время его переключения  $\tau_{mp} = 5\tau_u + 5\tau_{не}$ .

Тогда максимальное время задержки сигнала в счетчике Фибоначчи в первом периоде:

$$t_{\max} = (n-1)\tau_u + \tau_u + \tau_{не} = n\tau_u + \tau_{не} + 3\tau_u + 3\tau_{не} = (n+3)\tau_u + 4\tau_{не} \quad (2)$$

Появление единичных сигналов, поступающих с последней слева схемы И блока диспозиций 2 и с прямого выхода триггера старшего разряда регистра 4, на схеме И блока обнуления 5 дает возможность обнуления счетчика поступающим тактовым импульсом. Очевидно, что его поступление возможно только после затухания всех переходных процессов в счетчике, вызванных предыдущим тактом.

Появление единичных сигналов, поступающих с последней слева схемы И блока диспозиций 2 и с прямого выхода триггера старшего разряда регистра 4, на схеме И блока обнуления 5 дает возможность обнуления счетчика поступающим тактовым импульсом. Длительность тактового импульса определяется суммой времени переходных процессов в  $n-1$  последовательно включенных логических элементах ИЛИ и одной схемы И блока установки нуля 5. Если считать, что время задержки в схемах ИЛИ и схемах И одинаково, то время задержки в блоке установки в нуль будет равно величине  $n\tau_u$ . Так как установка триггеров регистра 1 происходит параллельно, то к этому времени следует добавить еще время  $2\tau_u + 2\tau_{не}$  установки триггера первой ступени в нуль. Соответственно общее время установки триггеров первой ступени регистра 4 в нулевое состояние будет равно  $n\tau_u + 2\tau_u + 2\tau_{не}$ . Такой же должна быть и минимально допустимая длительность тактового импульса:

$$t_{\min} = n\tau_u + 2\tau_u + 2\tau_{не} = (n+2)\tau_u + 2\tau_{не} \quad (3)$$

Общее же минимально допустимое время между двумя тактовыми импульсами (период):

$$T = t_{\max} + t_{\min} = (n+3)\tau_u + 4\tau_{не} + (n+2)\tau_u + 2\tau_{не} = (4) \\ = 2n\tau_u + 5\tau_u + 6\tau_{не} = (2n+5)\tau_u + 6\tau_{не}$$

Если же считать, что время задержки в инверторе соответствует времени задержек в логических элементах ИЛИ, И, то получим, что период появления тактовых импульсов:

$$T = t_{\max} + t_{\min} = (2n+5)\tau_u + 6\tau_{не} = (2n+11)\tau_u \quad (5)$$

Из приведенной формулы следует, что с увеличением числа разрядов счетчика Фибоначчи минимально допустимый период импульсов линейно увеличивается, что говорит о снижении быстродействия счетчика. Однако это снижение происходит исключительно за счет задержек логических схем счетчика, которое обычно очень малое. В обычных же двоичных счетчиках задержка сигналов происходит еще и за счет наличия переносов в его старшие разряды, что в счетчике Фибоначчи исключается. Поэтому быстродействие предлагаемой схемы счетчика Фибоначчи будет значительно выше по сравнению с двоичными счетными схемами. Если же учесть еще и то, что данный счетчик способен без особых дополнительных затрат обнаруживать ошибки в своей работе, то приходим к выводу о перспективности фибоначчиевого счета по данной схеме как с точки зрения быстродействия, так и помехоустойчивости.

Быстродействие данного счетчика будет выше и по отношению к счетчикам Фибоначчи, построенным на схемах свертки и развертки, так как такие схемы в данном счетчике отсутствуют. Кроме того, в данном счетчике наблюдается однородная структура, чего лишены счетчики Фибоначчи, требующие дополнительных схем на реализацию переходов от минимальной формы к максимальной форме и обратно.

### Выводы

В данной работе были получены выражения, позволяющие оценить быстродействие счетчика, работающего только в минимальных кодах Фибоначчи, без перехода к максимальной форме и обратно. Из приведенных оценок следует, что с увеличением числа разрядов счетчика Фибоначчи задержки сигналов в нем увеличиваются, что можно отнести к недостатку данной структуры счетчика. Однако отсутствие переносов в счетчике в определенной мере компенсирует этот недостаток. Кроме того, его структура отличается однородностью и простотой, что упрощает его реализацию и повышает надежность работы.

Список литературы

References

1. Хетагуров Я. А. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования / Я. А. Хетагуров, Ю. П. Руднев. – М.: Энергия. – 1974. – 271 с.
2. Stakhov A. P. Theory of Binet formulas for Fibonacci and Lucas p-numbers / A. P. Stakhov, B. N. Rozin // Chaos, Solitons & Fractals. – 2006. – № 5. – P. 1162–1177.
3. Stakhov A. P. The golden section in the measurement theory / A. P. Stakhov // Computers & Mathematics with Applications. – 1989. – № 4. – P. 613–638.
4. Borisenko A. A. Information system efficiency assessment / A. A. Borisenko, A. N. Skakovska, O. E. Goryachev // Actual Problems of Economics. – 2014. – P. 480–483.
5. Borisenko A. A. Description and Applications of Binomial Numeral Systems / A. A. Borisenko, V. V. Kalashnikov, N. I. Kalashnykova, D. V. Gutenko // International Journal of Innovative Computing, Information and Control. – 2014. – № 1. – P. 57–66.
6. Borisenko A. A. A new approach to the classification of positional numeral systems / A. A. Borisenko, V.V. Kalashnikov, T. A. Protasova, N.I. Kalashnykova // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. – 2014. – P. 441–450.
7. Borisenko A. A. Topological synthesis of basic information networks / A. A. Borisenko, L. B. Petryshyn // The methodical and instrumental aspects of production engineering. – 2014. – P. 208–222.
8. Stakhov A. P. Brousentsov's ternary principle, Bergman's number system and ternary mirror-symmetrical arithmetic / A. P. Stakhov // The Computer Journal: Oxford University Press. – 2002. – P. 221–236.
9. Stakhov A. P. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics, science, and engineering / A. P. Stakhov // Chaos, Solitons & Fractals. – 2005. – № 2. – P. 263–289.
10. Monteiro P. Minimal and maximal Fibonacci Representations: Boolean Generation / P. Monteiro, R. Newcomb // The Fibonacci Quarterly. – 1976. – Vol. 14 – № 1. – P. 613–638.
11. А. А. Борисенко Об одном способе построения счетчиков Фибоначчи / А. А. Борисенко, А. П. Стахов, С. М. Маценко, В. В. Сиряченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2012. — №. 3. — С. 165-170.
1. Hetagurov Ya. A., Rudnev Yu. P. Povyishenie nadezhnosti tsifrovyyih ustroystv metodami izbytochnogo kodirovaniya. M.: Energiya, 1974, 271.
2. Stakhov A. P., Rozin B. N. Theory of Binet formulas for Fibonacci and Lucas p-numbers. Chaos, Solitons & Fractals, 2006, 5, 1162–1177.
3. Stakhov A. P. The golden section in the measurement theory. Computers & Mathematics with Applications, 1989, 4, 613–638.
4. Borisenko A. A., Skakovska A. N., Goryachev O. E. Information system efficiency assessment. Actual Problems of Economics, 2014, 480–483.
5. Borisenko A. A., Kalashnikov V. V., Kalashnykova N. I., Gutenko D. V. Description and Applications of Binomial Numeral. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2014, 1, 57–66.
6. Borisenko A. A., Kalashnikov V.V., Protasova T. A., Kalashnykova N.I. A new approach to the classification of positional numeral systems. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 2014, 441–450.
7. Borisenko A. A., Petryshyn L. B. Topological synthesis of basic information networks. The methodical and instrumental aspects of production engineering, 2014, 208–222.
8. Stakhov A. P. Brousentsov's ternary principle, Bergman's number system and ternary mirror-symmetrical arithmetic. The Computer Journal: Oxford University Press, 2002, 221–236.
9. Stakhov A. P. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics, science, and engineering. Chaos, Solitons & Fractals, 2005, 2, 263–289.
10. Monteiro P., Newcomb R. Minimal and maximal Fibonacci Representations: Boolean Generation, 1976, 1, 613–638.
11. A. A. Borisenko, Stahov A. P., Matsenko S. M., Siryachenko V. V. Ob odnom sposobe postroeniya schetchikov. Visnik Sumskogo derzhavnogo unIversitetu. SerIya TehnIchnI nauki, 2012, 3, 165–170.

Надійшла (received) 08.12.2014



УДК 654.937

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЙ КОПЬЕМАТЕЛЯ НА СПОРТИВНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

**В. И. ГАЛИЦА<sup>1\*</sup>, С. Е. ГАРДЕР<sup>1</sup>, П. А. КАЧАНОВ<sup>1</sup>, А. И. ЛЮБИЕВ<sup>1</sup>,  
И. Н. СКРИПНИЧЕНКО<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

<sup>2</sup> Тренер в метании копья, Днепрпетровск, УКРАИНА

\*email: vitaliy.galitsa@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** У статті представлений статистичний аналіз біо-кінематичних характеристик рухів спортсмена - метальника у фінальній фазі випуску списа, що впливають на кінцевий результат. Розглянуто взаємний вплив на результат спроби в метанні списа таких параметрів, як швидкість вильоту списа, висота і кут випуску, а також кут атаки спису щодо набігаючого потоку повітря. Дослідження проводились за результатами відеоаналізу виступів метальників фіналістів Чемпіонату України 2012 року.

**Ключевые слова:** коефіцієнт детермінації, кореляція, біомеханічний фактор, домінуючий вплив, відеоаналіз.

**АННОТАЦИЯ** В статье представлен статистический анализ био-кинematicких характеристик движений спортсмена – копьеметателя в финальной фазе выпуска копья, влияющих на конечный результат. Рассмотрено взаимное влияние на результат попытки в метании копья таких параметров, как скорость вылета копья, высота и угол выпуска, а также угол атаки копья относительно набегающего потока воздуха. Исследования проводились по результатам видеоанализа выступлений копьеметателей финалистов Чемпионата Украины 2012 года.

**Ключевые слова:** коэффициент детерминации, корреляция, биомеханический фактор, доминирующее влияние, видеоанализ.

## STATISTICAL ANALYSIS DEGREE OF IMPACT KINEMATIC PARAMETERS MOVEMENTS ON SPORTS RESULT FOR JAVELIN THROWER

**V. GALITSA<sup>1\*</sup>, S.GARDER<sup>1</sup>, P. KACHANOV<sup>1</sup>, A. LUBIYEV<sup>1</sup>, N. SKRIPNICHENKO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

<sup>2</sup> Coach in the javelin, Dnepropetrovsk, UKRAINE

**ABSTRACT** The article presents data kinematic studies in the javelin, which provide information about the parameters of javelin movements just before the output of sports spears in the final phase of the takeoff. The studies were conducted on the results of the video analysis of competitions between spear throwers, finalists of Ukrainian Championship 2012 in track and field. There is described impact the biomechanical characteristics on the athletic performance in the javelin. Namely, the absolute initial velocity of output, output angle, angle of attack, height of output of a spear. Presents objective of this study - to confirm that the dominant impact on the end result of an attempt is speed of output of the spears, as well as to determine the degree of mutual impact of factors such as departure angle, angle of attack relative to the oncoming airflow spear and height of output of spears an athlete. This article describes the results of a statistical analysis between results of competitions and kinematic parameters in the form of a matrix of pair correlation coefficients, the results of which selected biomechanical factor with a dominant impact on the final result of an attempt.

**Keywords:** coefficient of determination, correlation, biomechanical factors, the dominant impact, video analysis.

### Введение

Современные исследования в области биомеханики спорта в целом направлены на поиск закономерностей между кинематическими параметрами движений спортсмена, выполняющего попытку, и

конечным результатом этой попытки [1]. Подобные проблемы решаются только с помощью комплексных экспериментально-теоретических исследований, позволяющих определить, какой из двигательных факторов имеет наибольшее положительное влияние, а

также какое взаимное влияние они оказывают. Данные кинематических исследований в метании копья предоставляют информацию о параметрах движений копьеметателя непосредственно перед выпуском спортивного снаряда в финальной фазе разбега [1]. Спортивный результат в метании копья (дальность попытки) определяется в основном биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: абсолютной начальной скоростью вылета, углом вылета, углом атаки, высотой выпуска копья [1, 4].

Абсолютную скорость копья в момент его выпуска принято считать основной биомеханической характеристикой при метании, которая оказывает наибольшее влияние на конечный результат попытки. Высота выпуска копья приближённо увеличивает или уменьшает дальность полёта снаряда соответственно на величину ее увеличения или уменьшения. Угол вылета выбирается как наиболее рациональный в пределах 35-39 градусов к горизонту с учётом угла атаки и силы сопротивления воздуха. Теоретически максимальный результат возможен, когда угол вылета равен 45°. Однако в силу антропометрических особенностей метателей обеспечить такой угол при других максимально эффективных параметрах вылета снаряда невозможно. Поэтому каждый атлет интуитивно подбирает параметры своего финального движения вплоть до момента выпуска снаряда [1, 4].

### Цель работы

Цель данного исследования – подтвердить факт доминирующего влияния скорости выпуска снаряда на конечный результат попытки, а также выявить степень взаимного влияния таких факторов, как скорость вылета, угол вылета, угол атаки копья относительно набегающего потока и высоты выпуска копья атлетом. Были проведены кинематические исследования биомеханических параметров вылета копья среди спортсменов – участников финала в метании копья во время проведения Чемпионата Украины 2012 по легкой атлетике по результатам видеосъемок со скоростью съемки 80 к/сек. Вычисления выполнялись с использованием программ векторной графики и метода пропорциональности посредством сравнения графических и физических размеров репера – в данном случае копья. С этой целью

использовалась электронная таблица Excell (Табл.1):

Таблица 1 – Вычисление реальных расстояний и коэффициента пересчета

Длина копья		Высота выпуска		Пролет копья		Длит-ть межкадр. промежутков, мс.	Кол-во межкадр. промежутков, шт.	Скорость вылета, м/с.	Кэфф. пересчета.
Размер в чертеже, мм.	Реальный размер, мм.	Размер в чертеже, мм.	Реальный размер, мм.	Размер в чертеже, мм.	Реальный размер, мм.				
88,9	2600	61,7	1804	38	1111	12,5	3	29,6	29,3

Данные кинематических вычислений заносились в 1, 3, 5, 7 и 8 ячейки.



Рис. 1 - Пример представления кинематической информации о параметрах вылета копья

В 4 и 9 ячейках были получены высота выпуска и скорость вылета копья [4].

На рис.1 представлен пример представления кинематической информации в одной из попыток одного из атлетов – участников финала. Результаты протокола соревнований и полученные результаты кинематических вычислений заносились в таблицу как экспериментальные факторы [4].

Таблиця 2 – Экспериментальные факторы

Скорость $V$ (м/с) $x_1$	Угол вылета $\alpha_v$ (град) $x_2$	Угол атаки $\alpha_a$ (град) $x_3$	Высота выпуска $H$ (м) $x_4$	Дальность $S$ (м) $y$
29.2	31.5	7	1.88	83.03
28.58	36.2	3	1.79	82.91
29.36	33.1	7.2	1.83	79.67
29.29	35.3	5.6	1.84	84.58
29.25	35.6	5.8	1.8	84.87
25.9	39.6	1.7	2.11	68.4
25.76	40.3	6	1.97	70.61
25.23	41.4	1.2	2.06	68.96
25.61	36.1	5.4	2.06	62.25
26.64	40.7	13.6	2.02	69.05
27.81	33.5	14	1.94	68.29
26.36	35.1	5.8	1.9	70.61
26.54	37	7.4	2	68.45
26.64	35.2	6.9	1.91	68.67
27.25	35.2	7.1	1.86	74.88
27.42	37.6	6.9	1.84	75.05
26.64	35	8.2	1.95	69.79
26.55	33.4	3.5	1.97	71.1
27.97	36	6.9	1.95	78
28.5	34.1	5.4	1.99	77.63
27.34	35.5	7	2.01	75.45
24.4	39.5	0.6	1.84	73.16
23.68	38.5	8.1	1.99	55.75
24.41	37.8	9.8	2.06	59.95
23.76	39.9	7.6	2.09	56.5
24.7	42.3	6.8	2.24	57.99
23.98	37.2	12	2.11	56.97
25.98	40.3	7.2	2.15	61.52
27.83	35.3	1.3	1.83	81.87

На графиках, приведенных в рисунках 2–5 представлены зависимости результирующей переменной  $S$  (дальность полета копья) от определяющих факторов – начальной скорости вылета  $v$ , угла вылета  $\alpha_v$ , угла атаки  $\alpha_a$  и высоты выпуска  $H$ . Экспериментальные значения представлены точками.

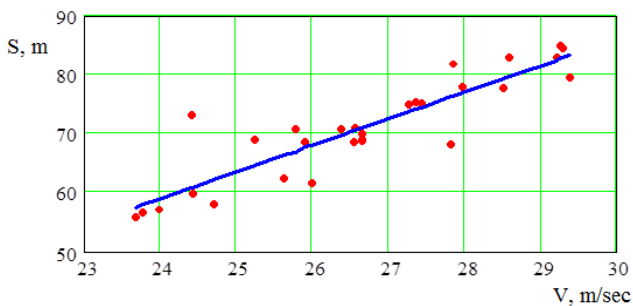


Рис. 2 - Зависимость дальности полета от скорости вылета  $S(v)$

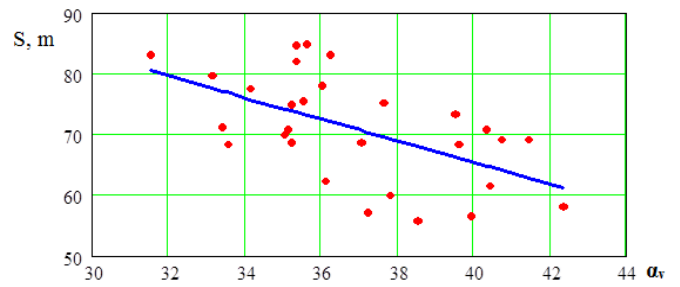


Рис. 3 - Зависимость дальности полета от угла вылета  $S(\alpha_v)$

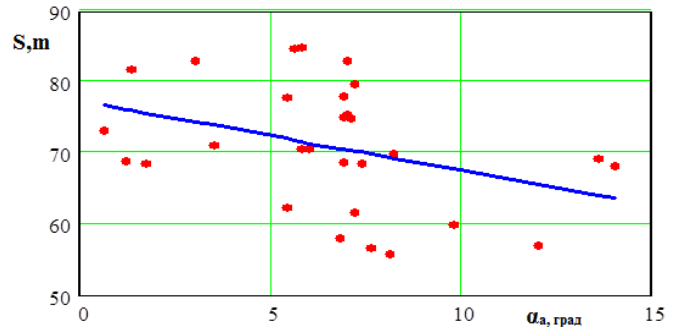


Рис. 4 - Зависимость дальности полета от угла атаки  $S(\alpha_a)$

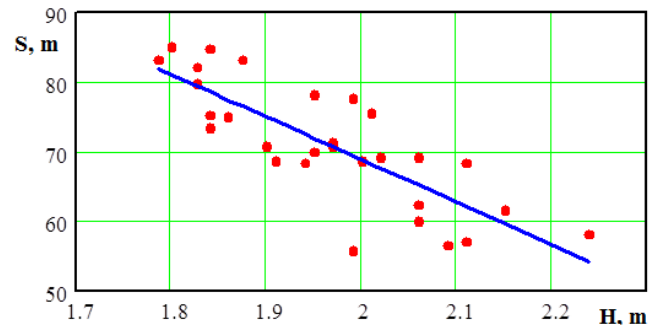


Рис. 5 - Зависимость дальности полета от высоты выпуска  $S(H)$

В первом приближении можно допустить, что парные зависимости результирующей переменной от каждого из факторов – линейные [2].

Степень линейной зависимости факторов характеризуется корреляционной матрицей переменных [2, 3].

На основании матрицы исходных данных – (в дальнейшем матрица  $X$  с элементами  $x_{ij}$  – таблица 3) размерности  $n=29$   $k=5$ , где  $x_{ij}$  – значение  $j$ -го показателя у  $i$ -го наблюдения ( $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, k}$ ) вычисляется матрица центриро-

ванных нормированных значений  $Z$  с элемен-

$$z_{ji} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad s_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (1)$$

здесь  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$  - средние значения показателей (столбцов), а также  $s_1, \dots, s_k$  - выборочные дисперсии столбцов. Результаты расчета парных коэффициентов корреляции представлены в Табл. 3.

Таблица 3 - Матрица парных коэффициентов корреляции R

	V	$\alpha_v$	$\alpha_a$	H	S
V	1	-0.684	-0.066	-0.67	0.897
$\alpha_v$	-0.684	1	-0.079	0.602	-0.564
$\alpha_a$	-0.066	-0.079	1	0.233	-0.364
H	-0.67	0.602	0.233	1	-0.806
S	0.897	-0.564	-0.364	-0.806	1

Наиболее близкая к линейной наблюдается зависимость между дальностью полета и скоростью вылета копья (0.897), углом вылета и высотой (0.602). Скорость вылета и высота, скорость вылета и угол вылета связаны зависимостями, близкими к обратно пропорциональной. В свою очередь, связи между скоростью и углом атаки, углом атаки и углом вылета практически отсутствуют.

Исходя из парных зависимостей рис.1 – рис. 4, математическую модель данных следует строить в классе линейных моделей множественной регрессии [2, 3].

В силу высокой корреляции между факторами (V-  $\alpha_v$ ), (V-H), (H-  $\alpha_v$ ), возможно явление мультиколлинеарности факторов. [2]

Тестирование мультиколлинеарности

Вычисляется наблюдаемое значение критерия  $\chi^2$

$$\chi_n^2 = - \left[ n-1 - \frac{1}{6}(2p+5) \right] \cdot \ln|R| \quad (3)$$

где  $n=29$ ;  $p=4 \cdot \ln|R|$  - логарифм определителя матрицы корреляций.

По таблице критических точек  $\chi^2$  определить  $\chi_{kr}^2(\alpha, \frac{1}{2}n(n-1))$ . Если  $\chi_n^2 > \chi_{kr}^2$ , то в массиве X может существовать мультиколлинеарность [2, 3]. Уровень значимости принят  $\alpha=0.05$ .

Результаты расчетов:

$$\chi_n^2 = 105.1 > \chi_{kr}^2(0.05, \frac{1}{2}29(29-1)) = 79.1.$$

Поскольку матрица экспериментальных данных оказалась мультиколлинеарна, то и регрессионная модель должна строиться с учетом этого явления. Для построения регрессионной модели с учетом мультиколлинеарности данных используется алгоритм, предполагающий последовательное наращивание в модели зависимых переменных таким образом, чтобы точность модели при этом возрастала [10, 60, 103]. Порядок построения модели следующий:

1. Строим парные регрессии  $y_j = \theta_0 + \theta_1 x_j^{(i)}$ , где  $i$ - номер столбца матрицы X. Для каждой парной регрессии вычисляем коэффициент детерминации:  $\hat{R}^2 = 1 - \frac{\hat{S}_\varepsilon^2}{S_y^2}$ , (4)

$$\text{где } S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5)$$

2. Отбираем ту переменную  $X^{(i)}$ , для которой он наибольший.

3. Строим уравнения регрессий для  $X^{(i)}$  и каждой оставшейся переменной:  $y_j = \theta_0 + \theta_1 x_j^{(i)} + \theta_2 x_j^{(k)}$ , где  $k = \overline{1, p}, k \neq j$  (6)

Для каждой регрессии вычисляем коэффициент детерминации. Отбираем ту переменную  $X^{(i)}$  для которой он наибольший. Если коэффициент детерминации продолжает расти, то процесс продолжается с новыми переменными. Если нет, то оставляем то количество переменных, которое достигнуто.

Результаты расчетов с разными переменными приведены в таблицах 4-6.

Таблица 4 - Регрессии с одной переменной

	Вид завис.	Числ. знач. коэффиц. регрессии	Коэф. детерм., дисперсия остатков	
Вид регрессии	$S_j = \theta_0 + \theta_1 v_j^{(i)}$	$\theta = -40.78$ $4.53$	$R^2=0.805$ $S_e^2 = 14.93$	Макс связь
	$S_j = \theta_0 + \theta_1 \alpha_v^{(i)}$	$\theta = 136.7$ $-1.78$	$R^2=0.318$ $S_e^2 = 52.093$	
	$S_j = \theta_0 + \theta_1 \alpha_a^{(i)}$	$\theta = 77.2$ $-0.97$	$R^2=0.133$ $S_e^2 = 66.242$	
	$S_j = \theta_0 + \theta_1 H_j^{(i)}$	$\theta = 190.6$ $-60.978$	$R^2=0.650$ $S_e^2 = 26.747$	

Таблица 5 - Регрессии с двумя переменными

	Вид зависимости	Коэф.-т детермин., дисперсия остатков	
Вид регрессии	$S_j = \theta_0 + \theta_1 v_j^{(i)} + \theta_2 \cdot \alpha_v^{(i)}$	$R^2=0.802$ $S_e^2 = 15.119$	
	$S_j = \theta_0 + \theta_1 v_j^{(i)} + \theta_2 \cdot \alpha_a^{(i)}$	<b><math>R^2=0.894</math></b> $S_e^2 = 8.099$	Макс. связь
	$S_j = \theta_0 + \theta_1 v_j^{(i)} + \theta_2 \cdot \dot{I}^{(i)}$	$R^2=0.877$ $S_e^2 = 9.429$	

Таблица 6. - Регрессии с тремя переменными

	Вид зависимости	Коэф.-т детермин., дисперсия остатков	
Вид регрессии	$S_j = \theta_0 + \theta_1 v_j^{(i)} + \theta_2 \cdot \alpha_a^{(i)} + \theta_3 \cdot \alpha_v^{(i)}$	$R^2=0.890$ $S_e^2 = 8.039$	
	$S_j = \theta_0 + \theta_1 v_j^{(i)} + \theta_2 \cdot \alpha_a^{(i)} + \theta_3 \cdot H_j^{(i)}$	<b><math>R^2=0.895</math></b> $S_e^2 = 8.028$	Макс. связь

Наибольшая величина коэффициента детерминации (0.895) соответствует полной регрессии. Данное уравнение с численными значениями коэффициентов имеет вид:

$$S_{теор.} = 7.684 + 3.788V + 0.406\alpha_a - 0.612\alpha_v - 24.764H \quad (7)$$

Выполненная проверка значимости коэффициента детерминации и коэффициентов регрессионной модели [2, 4] подтвердила их значимость при  $\alpha = 0.05$ .

Прогнозное значение результирующей переменной при увеличении зависимых переменных на один шаг может быть найдено по формуле[4]:

$$\hat{S}_{прогноз} = S_{расч} \pm h, \quad (8)$$

$$h = 2 \cdot t\left(\frac{\alpha}{2}, n - p\right) \sqrt{S_e^2} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (9)$$

где

t- квантиль распределения Стьюдента.

### Выводы

1. По результатам статистического анализа был выбран биомеханический фактор с доминирующим влиянием на конечный результат попытки – скорость вылета спортивного снаряда (коэффициент корреляции  $R=0,897$ , коэффициент детерминации  $R^2=0,805$ ).

2. Используя аналитические выражения для определения дальности полета копья в зависимости от взаимосвязанных кинематических параметров звеньев тела метателя, скорости выпуска копья, угла и высоты выпуска, с помощью полученных математических моделей становится возможным определить и откорректировать биомеханические параметры с целью улучшения спортивного результата.

3. Результаты исследования позволяют корректировать технические качества с учетом физических данных и возможностей спортсменов.

### Список литературы

1. **Адашевский, В.М.** Теоретические основы механики биосистем: Учебное пособие/ **В. М. Адашевский.** - Харьков НТУ "ХПИ", 2001. - 258 с.
2. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика: Учебник для вузов: в 2 т. – Т1: **Айвазян С.А.** Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с..
3. **Бабак, В.П.** і др. Статистична обробка даних. МІВВЦ, Київ, 2001. – 388 с.
4. **Галица, В.И., Качанов П.А.** Динамические модели биокинематических параметров движений атлетов. – тезисы Международной школы-семинара «Біомедична інженерія: проблеми і перспективи розвитку». – НТУ «ХПІ», Одеса, 2014
5. **Галица В.И., Качанов П.А., Горлов А.С., Карецкий Э.А.** Технические средства и системы экспресс диагностики для использования в технологиях управления подготовкой спортсменов /Вісник НТУ «ХПІ» 37-2012 за ред. проф. Качанова П.О. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 42-50.
6. **Качанов П. А., Галица В. И., Адашевский В. М., Горлов А. С.** Адаптация управляемых

- процессов к тренировкам копьеметателей в подготовительном периоде посредством интерактивного тренажера// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. - №15 (1058). – С.63-74. –Бібліогр.: 11 назв.-ISSN 2079-083x
7. **Bartonietz, K.** Javelin Throwing: an Approach to Performance Development/ K.Bartonietz, V.M. Zatsiorsky (ed.) // Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention. Blackwell Science. – LTD, Oxford, 2000. – P. 435-457.
  8. **Campos J., Brizuela G., Ramon V.** Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1 Haddad, J.M., van Emmerik, R., Wheat, J.S and Hamill, J. (2010). Relative phase coordination analysis in the assessment of dynamic gait symmetry. Journal of Applied Biomechanics, 26, 109-113.
  9. **Lanka, J.** Biomechanics of Javelin Throw (Latvian) / J. Lanka. – Riga: Elpa-2, 2007. – 335 p.
  10. **Prusik Ka.** [Methods of kinezometria in solving the problem of physical culture] Metoda kinezjometrii w rozwiązywaniu wybranych problemów kultury fizycznej. / Prusik. Ka., Görner K. - In: Súčasnosc' a perspektivy tělovýchovného procesu na školách. Banská Bystrica: PF UMB KTV, 2006 - S. 246 - 252.
  11. **Prusik Krz.** Optimisation of Athletes' Training Loades at the Initial Stage of Schooling. / Prusik Krz., Görner K., Pysny L. - Aoculty of Education, Jan Evangelista Purkyne University in Usti nad Labem, Czech Republik, 2010 - 168 s.
  12. **Choppin SB, Goodwill SR, Haake SJ, Miller S.** Ball and Racket Movement Recorded at the 2006 Wimbledon Qualifying Tournament. In: Estivalet M, Brisson P, editors. The Engineering of Sport 7; 2008; Biarritz, France: Springer; 2008. p. 563.
- References**
1. **Adashevskiy, V.M.** Theoretical Foundations of Mechanics biosystems: Textbook / V.M. Adashevskiy. - Kharkiv NTU "KhPI", 2001. - 258 p.
  2. **Aivasian, S.A.** Applied Statistics: A Textbook for universities: in 2 v. - T1: Ayvazyan SA Basics of econometrics. - M.: UNITY-DANA, 2001. - 432p.
  3. **Babak, V.P.** and others. Statistical analysis of the data. MIVVTS, Kyiv, 2001. - 388 p.
  4. **Galitsa, V.I., Kachanov P.A.** Dynamic models of byokynematic parameters movements of athletes. - Abstracts International school-seminar "Biomedical Engineering: Challenges and Prospects for Development". - NTU "KPI", Odessa, 20145.
  5. **Galitsa V.I., Kachanov P.A., Gorlov A.S., Karetsky E.A.** Technical means and systems of express diagnostics for use in technologies of management training athletes / News NTU "KhPI" 37-2012 for Ed. prof. Kachanova PO - Kharkiv: NTU "KhPI", 2012. - P. 42-50.
  6. Kachanov P.A., Galitsa V.I., Adashevsky V.M. Gorlov A.S. Adaptation of control processes to training spear-throwers in the preparatory period by interactive simulator // News NTU "KhPI." Seriya: Automation is the priladobuduvannya. -Kharkiv: NTU "KhPI», 2014. - №15 (1058). - S.63-74. - Bibliogr.: 11 nazv.-ISSN 2079-083x7.
  7. **Bartonietz, K.** Javelin Throwing: an Approach to Performance Development/ K.Bartonietz, V.M. Zatsiorsky (ed.) // Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention. Blackwell Science. – LTD, Oxford, 2000. – P. 435-457.
  8. **Campos J., Brizuela G., Ramon V.** Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1 Haddad, J.M., van Emmerik, R., Wheat, J.S and Hamill, J. (2010). Relative phase coordination analysis in the assessment of dynamic gait symmetry. Journal of Applied Biomechanics, 26, 109-113.
  9. **Lanka, J.** Biomechanics of Javelin Throw (Latvian) / J. Lanka. – Riga: Elpa-2, 2007. – 335 p.
  10. **Prusik Ka.** [Methods of kinezometria in solving the problem of physical culture] Metoda kinezjometrii w rozwiązywaniu wybranych problemów kultury fizycznej. / Prusik. Ka., Görner K. - In: Súčasnosc' a perspektivy tělovýchovného procesu na školách. Banská Bystrica: PF UMB KTV, 2006 - S. 246 - 252.
  11. **Prusik Krz.** Optimisation of Athletes' Training Loades at the Initial Stage of Schooling. / Prusik Krz., Görner K., Pysny L. - Aoculty of Education, Jan Evangelista Purkyne University in Usti nad Labem, Czech Republik, 2010 - 168 s.
  12. **Choppin SB, Goodwill SR, Haake SJ, Miller S.** Ball and Racket Movement Recorded at the 2006 Wimbledon Qualifying Tournament. In: Estivalet M, Brisson P, editors. The Engineering of Sport 7; 2008; Biarritz, France: Springer; 2008. p. 563.

Надійшла (received) 08.12.2014

УДК 519.816

## ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ СТУДЕНТОВ К ТИПОЛОГИЧЕСКОЙ ГРУППЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСПЕВАЕМОСТИ

**В. А. ШЕВЧЕНКО\***

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, УКРАИНА

\* email: vicashev@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Сформульовано задачу розподілу студентів на типологічні групи як задачу прийняття рішень в умовах невизначеності. Проведено огляд деяких варіантів графічного представлення функцій приналежності, на підставі чого функція приналежності нечіткої множини студентів до певної типологічної групи залежно від успішності представлена в трапецеїдальному вигляді. Визначено значення функції приналежності нечіткої функції перерозподілу студентів в іншу типологічну групу

**Ключові слова:** функція приналежності, нечітка множина, типологічна група, успішність студентів, графічне представлення

**АННОТАЦИЯ** Сформулирована задача распределения студентов по типологическим группам как задача принятия решения в условиях неопределенности. Проведен обзор некоторых вариантов графического представления функций принадлежности, на основании чего функция принадлежности нечеткого множества студентов к определенной типологической группе в зависимости от успеваемости представлена в трапецеидальном виде. Определены значения функции принадлежности нечеткой функции перераспределения студентов в другую типологическую группу

**Ключевые слова:** функция принадлежности, нечеткое множество, типологическая группа, успеваемость студентов, графическое представление

## GRAPHICAL REPRESENTATION OF THE FUNCTION OF STUDENT TYPOLOGICAL GROUP MEMBERSHIP, DEPENDING ON THE ACADEMIC PERFORMANCE

**V. SHEVCHENKO\***

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The aim of the article is to determine the value of the membership function of the fuzzy function of student redistribution into a different typological group based on the graphical representation of the results of student distribution into typological groups, depending on the academic performance. To achieve the assigned goal, there were used the methods of cluster analysis and the theory of fuzzy sets. The problem of student distribution into typological groups as a problem of decision-making under uncertainty is formulated. There was carried out a review of some embodiments of membership functions graphical representation, based on which the function of a fuzzy set of students belonging to a certain typological group, depending on the academic performance is presented in the form of a trapezoid. Based on the graphic representation of functions of a fuzzy set of students belonging to a typological group, depending on the academic performance, the quantitative values of student redistribution possibilities from one typological group into another were determined. The results of studies outlined in this article create preconditions for formalization of a complex and insufficiently structured process of knowledge acquisition by students. A graphical representation of the membership function in the form of a trapezoid, which reflects the distribution of a fuzzy set of students into certain typological groups, depending on the academic performance, is the basis for building models of student academic performance, using modern heuristic methods of knowledge representation. The results obtained can be used in creating the automated systems of training process control

**Key words:** membership function, fuzzy set, typological group, student performance, graphical representation

### Введение

На современном этапе развития образования Украины особое внимание уделяется созданию единой информационно-компьютерной системы управления образованием. Попытки создания такой

системы наталкиваются на значительные трудности, связанные с исследованием многообразных слабоструктурированных когнитивных, учебных и образовательных процессов. Преодоление указанных трудностей возможно с помощью разработки методов

формализации слабоструктурированных процессов управления в сфере образования на основе теории принятия решений, эвристических методов представления знаний, теории искусственного интеллекта, теории нечетких множеств и других методов.

### Цель работы

В работе [1] автором предложен метод распределения студентов по типологическим группам в зависимости от успеваемости. Суть метода заключается в том, что поток студентов распределяется по типологическим группам на основе методов кластерного анализа, и по результатам распределения строится прогноз успеваемости студентов. В случаях, когда текущая успеваемость студента не соответствует прогнозируемой, для повышения точности прогнозирования организована возможность перераспределения студентов из одной типологической группы в другую с учетом мотивации и способности студента к обучению. Считая факторы мотивации и способности к обучению статистически неопределенными параметрами, задачу перераспределения студентов по типологическим группам будем считать задачей принятия решений в условиях неопределенности, а результат распределения студентов по типологическим группам представим в виде нечеткой функции  $\tilde{K}$ :

$$\tilde{K} = (X, Y, \tilde{F}), \quad (1)$$

где  $X = \{x_i\}, i = \overline{1,4}$  – четкое множество типологических классов, по которым произведено распределение студентов методом кластерного анализа;  $Y = \{y_j\}, j = \overline{1,4}$  – четкое множество типологических классов, по которым возможно перераспределение студентов;  $\tilde{F} = \{\mu_{\tilde{F}}\langle x_i, y_j \rangle\}$  – нечеткое множество в  $X \times Y$ , где  $\mu_{\tilde{F}}\langle x_i, y_j \rangle$  – функция принадлежности;  $x_i \in X, i = \overline{1,4}; y_j \in Y, j = \overline{1,4}$ .

Методика проведения процедуры перераспределения студентов по типологическим группам приведена в работе [2].

Цель настоящей статьи – определить значения функции принадлежности нечеткой функции перераспределения студентов в другую типологическую группу на основе графического представления результатов

распределения студентов по типологическим группам в зависимости от их успеваемости.

### Графическое представление распределения студентов по типологическим группам

Функция принадлежности может иметь графическое представление разного вида: прямоугольного (рис. 1), описывается выражением (2); экспоненциального (рис. 2), описывается выражением (3); трапециевидного (рис. 3), описывается выражением (4) и т. д.

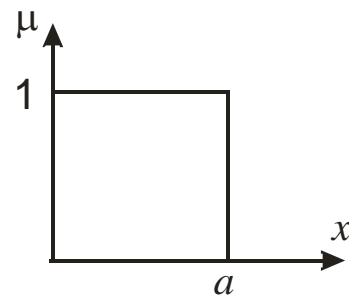


Рис. 1 – Прямоугольный вид функции принадлежности

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq a; \\ 0 & x > a, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\mu$  – функция принадлежности;  $x$  – нечеткое множество;  $a$  – некоторый параметр, принимающий произвольное значение,  $a \in x$ .

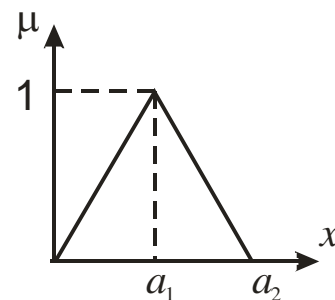


Рис. 2 – Треугольный вид функции принадлежности

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x}{a_1}, & 0 \leq x < a_1; \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2; \\ 0 & a_2 < x, \end{cases} \quad (3)$$



где  $\mu$  – функция принадлежности;  $x$  – нечеткое множество;  $a_1, a_2$  – некоторые параметры, принимающие произвольное значение и упорядоченные отношением  $a_1 \leq a_2, a \in x$ .

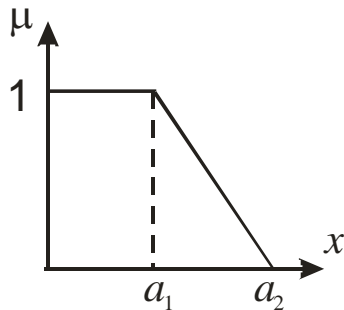


Рис. 3 – Трапециевидальный вид функции принадлежности

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < a_1; \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2; \\ 0 & a_2 < x, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\mu$  – функция принадлежности;  $x$  – нечеткое множество;  $a_1, a_2$  – некоторые параметры, принимающие произвольное значение и упорядоченные отношением  $a_1 \leq a_2, a \in x$ .

Вид функции принадлежности определяется лицом, принимающим решения, на основе различных субъективных факторов, таких как опыт, интуиция и др.. Проанализировав процесс распределения студентов по типологическим группам, было принято решение, что функция принадлежности студентов к определенной типологической группе соответствует трапециевидному виду (рис. 3), описываемому выражением (4):

Рассмотрим нечеткое множество студентов типологической группы «Плохо». К группе «Плохо» относятся неуспевающие студенты. Следовательно, их знания в 100-балльной системе оцениваются в пределах от 0 до 60. Другими словами, если текущая успеваемость студента меньше 60 баллов, он принадлежит к типологической группе «Плохо» с достоверностью, равной 1. Если текущая успеваемость студента в пределах от

60 до 100 баллов, то достоверность того, что студент может попасть в группу «Плохо» будет уменьшаться в обратной зависимости. А так как для оценки успеваемости студентов используется 100-балльная система, то достоверность того, что студент имеет текущую оценку более 100 баллов, будет равна 0. Приняв за  $x$  текущую успеваемость студентов, за  $a_1$  минимальную положительную оценку знаний студентов ( $a_1 = 60$ ), а за  $a_2$  – максимальную положительную оценку знаний студентов ( $a_2 = 100$ ), получим, что выражение (4) описывает нечеткую функцию принадлежности студентов к типологической группе «Плохо». Следовательно, рис. 3 является графическим представлением функции принадлежности нечеткого множества студентов к типологической группе «Плохо».

Учитывая изложенное выше, успеваемость студентов, принадлежащих к типологической группе «Удовлетворительно», находится в пределах от 60 до 75. В этом случае выражение (4) превращается в выражение (5):

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x}{a_1} & 0 \leq x < a_1; \\ 1 & a_1 \leq x < a_2; \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x < a_3; \\ 0 & a_3 < x, \end{cases} \quad (5)$$

где  $a_1 = 60$ баллов;

$a_2 = 75$ баллов;

$a_3 = 100$ баллов.

Изменив значение параметров  $a$  в формуле (4), получим выражение, описывающее нечеткую функцию принадлежности студентов к типологической группе «Хорошо», где  $a_1 = 75$ баллов;  $a_2 = 90$ баллов;  $a_3 = 100$ баллов.

Графическое представление функции принадлежности нечеткого множества студентов к типологической группе «Удовлетворительно» или «Хорошо» имеет вид, представленный на рис. 4.

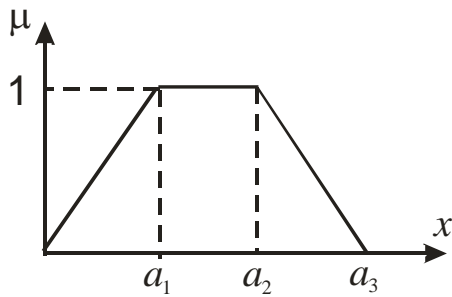


Рис. 4 – Функція належності нечеткого множення студентів к типологічній групі «Удовлетворительно» или «Хорошо»

Выражение (6) и рис. 5 представляют функцию принадлежности нечеткого множения студентів к типологічній групі «Отлично».

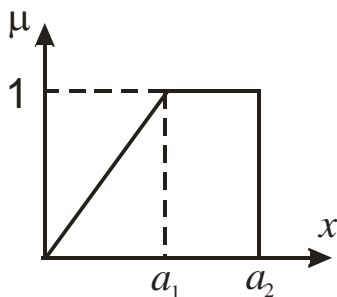


Рис. 5 – Функція належності нечеткого множення студентів к типологічній групі «Отлично»

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x}{a_1}, & 0 \leq x < a_1; \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_2; \\ 0 & a_2 < x, \end{cases} \quad (6)$$

где  $a_1 = 90$ баллов;

$a_2 = 100$ баллов.

Основываясь на трапецидальном виде функции принадлежности, представим графически результат распределения студентів по типологічній групі как функции нечеткого множения. При этом будем учитывать, что в соответствии с распределением баллов в 100-балльной системе успеваемость студентів, соотношенных к типологічній групі «Плохо» находится в пределах от 0 до 59 баллов; успеваемость студентів в

типологічній групі «Удовлетворительно» – в пределах от 60 до 74; в типологічній групі «Хорошо» – в пределах от 75 до 89; а в типологічній групі «Отлично» – в пределах от 90 до 100 баллов.

Кроме того, с помощью выражений (4 -6) определим и обозначим графически значения функции принадлежности нечеткой функции перераспределения студентів в другую типологічній групі.

Таким образом, результат распределения студентів в типологічній групі «Плохо» будет иметь вид, представленный на рис. 5.

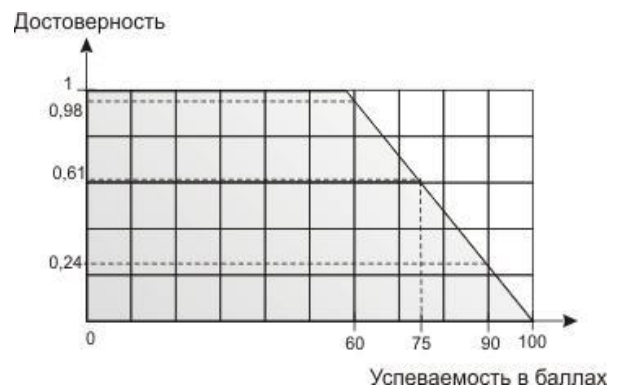


Рис. 5 – Графическое представление функции принадлежности нечеткого множения типологічній групі «Плохо»

На рис. 5 функция принадлежности нечеткого множения студентів типологічній групі «Плохо» равна 1 на интервале успеваемости студентів от 0 до 59, а затем убывает до 0 на интервале успеваемости от 60 до 100 баллов. Достоверность перераспределения студентів из групі «Плохо» в групі «Удовлетворительно» равна 0,98. Другими словами, плохо успевающие студентів могут учиться удовлетворительно с вероятностью 0,98. Аналогично достоверность перераспределения студентів из групі «Плохо» в групі «Хорошо» составляет 0,61, а в групі «Отлично» – 0,24 соответственно.

Рис. 6 иллюстрирует результат распределения студентів в типологічній групі «Удовлетворительно». На данном рисунке функция принадлежности нечеткого множения студентів типологічній групі «Удовлетворительно» возрастает от 0 до 1 на интервале успеваемости студентів от 0 до 59, равна 1 на интервале успеваемости от 60 до 74 и убывает от 1 до 0 на интервале успеваемости от 75 до 100 баллов. Достоверность перераспределения студентів из групі «Удовлетворительно» в групі «Плохо» равна

0,98, в групу «Хорошо» – 0,96, в групу «Отлично» – 0,39 соответственно.

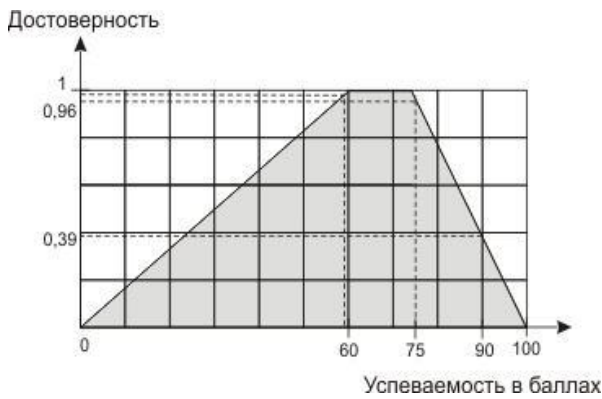


Рис. 6 – Графическое представление функции принадлежности нечеткого множества типологической группы «Удовлетворительно»

Рис. 7 представляет результат распределения студентов в типологическую группу «Хорошо». Достоверность перераспределения студентов из группы «Хорошо» в группу «Плохо» равна 0,79, в группу «Удовлетворительно» – 0,99, в группу «Отлично» – 0,9.

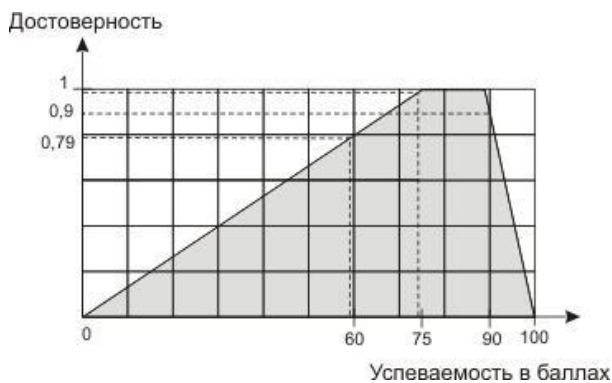


Рис. 7 – Графическое представление функции принадлежности нечеткого множества типологической группы «Хорошо»

На рис. 8 приведен результат распределения студентов в типологическую группу «Отлично». Достоверность перераспределения студентов из группы «Хорошо» в группу «Плохо» с достоверностью 0,66, в группу «Удовлетворительно» – 0,82 в группу «Хорошо» – 0,99.

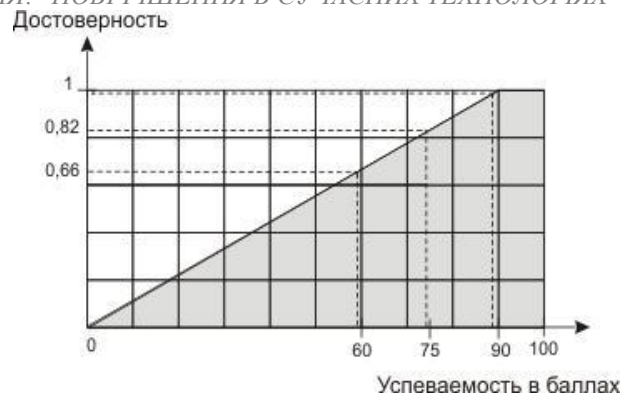


Рис. 8 – Графическое представление функции принадлежности нечеткого множества типологической группы «Отлично»

### Обсуждение результатов

В настоящее время имеется значительное количество работ, в которых обсуждаются проблемы математического моделирования и управления процессом обучения студентов с помощью различного математического аппарата, а также описываются принципы формализации процессов формирования компетентностей студентов. Результаты исследований, представленные в настоящей статье, являются основой для формализации сложного и слабоструктурированного процесса приобретения знаний студентами. Таким образом, созданы предпосылки для построения моделей успеваемости студентов на основе современных эвристических методов представления знаний.

### Выводы

Получено графическое представление функции принадлежности в трапецидальном виде, которое отражает распределение нечеткого множества студентов к определенной типологической группе в зависимости от успеваемости, что дало возможность определить количественно значения функции принадлежности нечеткой функции перераспределения студентов в другую типологическую группу. Полученные результаты могут быть использованы при построении автоматизированных систем управления процессом обучения.

Список литературы

- 1 Шевченко, В. А. Распределение студентов на типологические группы с помощью кластерного анализа в зависимости от факторов, влияющих на успеваемость / В. А. Шевченко // *Проблеми інтеграції національних закладів вищої освіти до Європейського освітнього середовища: зб. матеріалів міжнародної наук.-метод. конф.* – 2012. – Т. 2. – С. 120 – 123.
- 2 Метешкин, К. А. Нечеткое представление результатов кластеризации студентов / К. А. Метешкин, В. А. Шевченко // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».* – 2012. – Вып. 56. – С. 162 – 168.
- 3 Ладанюк, А. П. Основы системного анализа: навч. посібник / А. П. Ладанюк – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
- 4 Добрынина, Н. Ф. Математические модели распространения знаний и управления процессом обучения / Н. Ф. Добрынина // *Фундаментальные исследования.* – 2009. – № 7. – С. 7–9.
- 5 Белова, Л. А. Логико-математические основы управления учебными процессами высших учебных заведений: моногр. / Л. А. Белова, К. А. Метешкин, О. В. Уваров. – Харьков: Вост.-рег. центр гуман.-образ. инициатив, 2001. – 272 с.
- 6 Fazlollahtabar, H. User/tutor optimal learning path in e-learning using comprehensive neuro-fuzzy approach / H. Fazlollahtabar, I. Mahdavi // *Educational Research Review.* – 2009. – V. 4 Is. 2. P. 142 – 155.
- 7 Dias, S. B. FuzzyQoI model: A fuzzy logic-based modelling of users' quality of interaction with a learning management system under blended learning / S. B. Dias, J. A. Diniz // *Computers & Education.* – 2013. V. 69. – P. 38 – 59.
- 8 Lamb, R. L. A computational modeling of student cognitive processes in science education / R. L. Lamb, D. B. Vallett, T. Akmal, K. Baldwin // *Computers & Education.* – 2014. V. 79. – P. 116 – 125.
- 9 Lupo, T. A fuzzy ServQual based method for reliable measurements of education quality in Italian higher education area / T. Lupo // *Expert Systems with Applications.* – 2013. – V. 40 Is. 17. – P. 7096 – 7110.
- 10 Chen, S.-M. Evaluating students' answerscripts based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets / S.-M. Chen, T.-S. Li // *Information Sciences.* – 2013. – V. 235. – P. 308 – 322.

- 11 Kwok, R. C.W. Collaborative assessment in education: an application of a fuzzy GSS / R. C.W. Kwok, J. Ma, D. Vogel, D. Zhou // *Information & Management.* – 2001. – V. 39 Is. 3. – P. 243 – 253.

References

- 1 Shevchenko, V. A. Distribution of students in the typological groups using cluster analysis, depending on the factors affecting the performance. *Problems integrating national institutions of higher education in the European educational environment: Proceedings of the international scientific and technical conference*, 2012, 2, 120 – 123.
- 2 Meteshkin, K. A. Fuzzy representation of the results of clustering students. *Open information and computer integrated technologies: Proceedings of the National Aerospace University named after N. E. Zhukovsky "HAI"*, 2012, 56, 162 – 168.
- 3 Ladanyuk, A. P. Through systems analysis: a tutorial. Vinnitsa: Nova Knuha, 2004.
- 4 Dobrynina, N. F. Mathematical models of the spread of knowledge and learning management. *Basic research*, 2009, 7, 7–9.
- 5 Belova, L. A. Logical-mathematical foundations of learning management of higher education institutions: monograph. Kharkov: East Regional Center for Humanities and Education Initiatives, 2001.
- 6 Fazlollahtabar, H. User/tutor optimal learning path in e-learning using comprehensive neuro-fuzzy approach. *Educational Research Review*, 2009, 4(2), 142 – 155.
- 7 Dias, S. B. FuzzyQoI model: A fuzzy logic-based modelling of users' quality of interaction with a learning management system under blended learning. *Computers & Education*, 2013, 69, 38 – 59.
- 8 Lamb, R. L. A computational modeling of student cognitive processes in science education. *Computers & Education*, 2014, 79, 116 – 125.
- 9 Lupo, T. A fuzzy ServQual based method for reliable measurements of education quality in Italian higher education area. *Expert Systems with Applications*, 2013, 40(17), 7096 – 7110.
- 10 Chen, S.-M. Evaluating students' answerscripts based on interval-valued intuitionistic fuzzy. *Information Sciences*, 2013, 235, 308 – 322.
- 11 Kwok, R. C.W. Collaborative assessment in education: an application of a fuzzy GSS. *Information & Management*, 2001, 39(3), 243 – 253.

Надійшла (received) 04.03.2015

УДК 004.932

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ МЕЖДУ ОЦЕНКАМИ ПОЛОЖЕНИЙ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ССД-КАДРА

*Н. Ю. ДИХТЯР\**, *Я. С. МОВСЕСЯН*, *С. В. ХЛАМОВ*, *В. Е. САВАНЕВИЧ*

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА  
\*email:movsesian.iana@gmail.com

**АННОТАЦІЯ** У статті запропоновано уточнення виразів для аналітичного розрахунку відхилень різних оцінок положень зоряного об'єкту в екваторіальній системі координат, мінімум суми таких відхилень є критерій досконалого паросполучення в задачі ототожнення вимірювань астрономічного ССД-кадру із зоряним каталогом. Уточнення представлених у статті формул для відхилень різних оцінок положень екваторіальних координат небесних об'єктів дозволяють підвищити точність спостережень в сучасній астрономії.

**Ключові слова:** відхилення, ССД - кадр, небесний об'єкт, екваторіальні координати, відхилення по схиленню, відхилення по сходженню, оцінка положення.

**АННОТАЦИЯ** В данной статье предложено уточнение выражений для аналитического расчета отклонений различных оценок положения звездного объекта в экваториальной системе координат, минимум суммы которых является критерием совершенного паросочетания в задаче отождествления астрономического ССД-кадра со звездным каталогом. Уточнение представленных в статье формул для отклонений различных оценок экваториальных координат небесных объектов позволяют повысить точность наблюдений в современной наблюдательной астрономии

**Ключевые слова:** отклонение, ССД - кадр, небесный объект, экваториальные координаты, отклонение по склонению, отклонение по восхождению, оценка положения

## ANALYTICAL EXPRESSIONS FOR THE CALCULATION OF DEVIATIONS BETWEEN ASSESSMENTS OF THE HEAVENLY OBJECT IN THE PROBLEM OF IDENTIFICATION CCD-FRAME

*N.DICHTYAR\**, *IA. MOVSESIAN*, *S. CHLAMOV*, *V. SAVANEVYCH*

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Clarification of the expressions for the analytical calculation of deviations of different assessments of the stellar object in the equatorial coordinate system is suggested in the article. It is advisable to use specified deviation in equatorial coordinate system as a criterion for identifying based on the number of technical reasons.

Full deviation is resolved into two components during analysis of mutual deviations of different assessments of stellar objects. The first component is a deviation in declination. It is a deviation between the estimates of stellar object position in the meridian of etalon estimate. The second component is a deviation in right ascension. It is a deviation between the estimates of stellar object position outside of the meridian of etalon estimate.

Etalon estimate should be measurement of the stellar catalog if we compare the estimates between frame and stellar catalog. The minimum sum of assessments of the object is the criterion for a perfect matching in the identification problem of astronomical CCD-frame with the star catalog.

Perfect matching is in accordance with certain criterion. It can be reduced to a combination of deviations between the estimates of the provisions of stellar objects within these pairs. Recent deviations are a criterion of the frame identification on the star pattern. The accuracy of observations in modern observational astronomy will be improved by using described expressions in this article.

**Keywords:** deviation, CCD-frame, celestial object, equatorial coordinates, the deviation in declination, deviation ascent.

### Введение

В работе [1, 2] показано, что задача отождествления астрономического ССД-кадра [3, 4] со звездным каталогом сводится к

нахождению совершенного паросочетания в соответствии с некоторым метакритерием. Данный метакритерий может быть сведен к сочетанию отклонений между оценками

положений небесных объектов внутри указанных пар. Последние отклонения и являются критерием отождествления кадра по звездному узору.

### Анализ литературы

Исходя из ряда технических соображений целесообразно в качестве критерия отождествления использовать указанные отклонения в экваториальной системе координат [5, 6]. Иными словами, часто при анализе взаимных отклонений различных оценок положения небесных объектов полное отклонение раскладывают на две составляющие. Первая из них, – отклонение  $\Delta\delta$  по склонению – представляет собой отклонение между оценками положения небесного объекта внутри меридиана одной из оценок. Естественно считать, что указанная выше оценка, соответствующая меридиану, признается за эталон. Так, например, если сравниваются оценки кадра (измерения) и каталога, то за эталон принимаются измерения каталога.

Таким образом, отклонение по склонению представляет собой отклонение между оценками положения в плоскости меридиана, соответствующего оценке, выбранной в качестве эталона (в плоскости меридиана эталона). Второе отклонение – отклонение  $\Delta\alpha_j$  по прямому восхождению – является отклонением между различными оценками положений небесного объекта вне плоскости меридиана эталона.

Отклонения между различными оценками экваториальных координат (прямого восхождения и склонения) одних и тех же небесных объектов не могут быть представлены простой их разницей. В частном случае данное утверждение касается отклонений между измерениями и каталожными значениями положения небесных объектов.

В литературе [7, 8, 9] достаточно часто отклонение  $\Delta\delta$  по склонению представляется простой разницей оценок. В свою очередь отклонение по прямому восхождению представляется формулой:

$$\Delta\alpha = (\alpha_s - \alpha_g) \cdot \cos \delta_s. \quad (1)$$

Выражение (1) имеет ясный физический смысл. На экваторе отклонение  $\Delta\alpha$  по прямому восхождению равно арифметической разности значений различных оценок прямого восхождения небесного объекта. На полюсе все возможные значения прямого восхождения от 0 до 360 градусов соответствуют одной и той же точке – полюсу небесной сферы. В соответствии с этим, отклонение по прямому восхождению для полюса ( $\delta = 90^\circ$ ) будет признано равным нулю при любых значениях оценок прямых восхождений  $\alpha_s$  и  $\alpha_g$ .

**Целью статьи** является уточнение формул для отклонений различных оценок (прежде всего измерения кадра и каталожного значения) экваториальных координат небесных объектов.

### Полное отклонение между различными оценками экваториальных координат небесного объекта

Полное отклонение между различными оценками экваториальных координат небесного объекта является центральным углом (угол с вершиной в центре небесной сферы) между двумя положениями объекта на небесной сфере, соответствующими различным оценкам.

Определяется полное отклонение следующим образом. Оценка положения  $j$ -го объекта, согласно данным каталога, задается экваториальными координатами  $\alpha_{catj}$ ,  $\delta_{catj}$ .

Декартовы координаты  $x_{catj}$ ,  $y_{catj}$ ,  $z_{catj}$  точки (начало системы координат находится в центре небесной сферы) с экваториальными координатами  $\alpha_{catj}$ ,  $\delta_{catj}$  на сфере единичного радиуса определяются выражением [10, 11]

$$\chi_{catj} = \begin{pmatrix} x_{catj} \\ y_{catj} \\ z_{catj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \alpha_{catj} \cos \delta_{catj} \\ \cos \alpha_{catj} \cos \delta_{catj} \\ \sin \delta_{catj} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Центральный угол между двумя оценками положения объекта  $\chi_{j1}$  и  $\chi_{j2}$  определяется выражением [10, 11]:

$$\cos(\chi_{j1}, \chi_{j2}) = \frac{x_{catj1} \cdot x_{catj2} + y_{catj1} \cdot y_{catj2} + z_{catj1} \cdot z_{catj2}}{\sqrt{x_{catj1}^2 + y_{catj1}^2 + z_{catj1}^2} \sqrt{x_{catj2}^2 + y_{catj2}^2 + z_{catj2}^2}}. \quad (3)$$

Так как исследуемые точки лежат на сфере единичного радиуса, то знаменатель выражения (3) равен 1 по определению. Тем самым, значение искомого полного отклонения, значение искомого центрального угла между двумя оценками положения объекта на небесной сфере, определяется выражением:

$$\Delta_{12j} = \arccos(x_{catj1} \cdot x_{catj2} + y_{catj1} \cdot y_{catj2} + z_{catj1} \cdot z_{catj2}). \quad (4)$$

Для удобства изложения и восприятия материала далее в обозначении отклонений  $\Delta\alpha_j$  и  $\Delta\delta_j$  индекс  $j$  опускается.

Для вывода выражений для введенных указанным выше образом отклонений понадобится уравнение плоскости меридиана и прямоугольные координаты точек  $S$ ,  $W$ ,  $G$  (рис. 1). Считается, что точка  $S$  характеризует измерение (например, оценку положения объекта по результатам обработки кадра), а точка  $G$  – характеризует эталон (каталожную оценку положения этого же объекта). В дальнейшем для упрощения изложения материала точка  $S$  будет называться измерением, а точка  $G$  – эталоном.

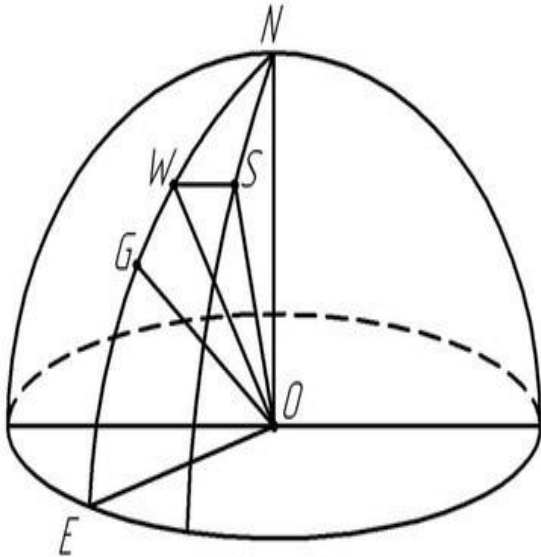


Рис. 1 – Изображение измеренной  $S$  и эталонной  $G$  оценок положения объекта на сфере.

Плоскость меридиана эталона проходит через 3 точки с известными координатами:

полюс сферы  $N$  с координатами  $(0,0,1)$ , центр сферы  $O$  с координатами  $(0,0,0)$  и точку  $E$  на экваторе сферы с координатами  $(\sin \alpha_g; \cos \alpha_g; 0)$ . При этом уравнение данной плоскости можно представить следующим образом [10, 11]:

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & x_N - x_0 & x_E - x_0 \\ y - y_0 & y_N - y_0 & y_E - y_0 \\ z - z_0 & z_N - z_0 & z_E - z_0 \end{vmatrix} = 0. \quad (5)$$

После подстановки в выражение (5) выражений для координат точек полюса сферы  $N$ , центра сферы  $O$ , узла меридиана  $E$ :

$$\begin{vmatrix} x & 0 & \sin \alpha_g \\ y & 0 & \cos \alpha_g \\ z - 1 & -1 & -1 \end{vmatrix} = 0. \quad (6)$$

После раскрытия определителя (6) уравнение плоскости меридиана эталона можно записать в виде:

$$x \cos \alpha_g - y \sin \alpha_g = 0. \quad (7)$$

Иными словами, уравнение плоскости меридиана эталона (плоскости меридиана, проходящей через точку  $G$ , соответствующую эталонному/каталожному положению небесного объекта [10, 11]) имеет вид:

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \cos \alpha_g; \\ B &= -\sin \alpha_g; \\ C &= 0; \\ D &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Относительно выражений для прямоугольных координат измерения  $S$  и эталона  $G$  (рис. 1).

Согласно выражению (2) имеют место тождества:

$$\begin{aligned} x_s &= \sin \alpha_s \cos \delta_s; \\ y_s &= \cos \alpha_s \cos \delta_s; \\ z_s &= \sin \delta_s; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}x_g &= \sin \alpha_g \cos \delta_g ; \\y_g &= \cos \alpha_g \cos \delta_g ; \\z_g &= \sin \delta_g .\end{aligned}\quad (11)$$

Целесообразно ввести проекцию измерения S на плоскость ранее введенного меридиана. Данная точка на рисунке 1 обозначена буквой W.

Для нахождения координат точки W можно использовать параметрическое уравнение прямой, перпендикулярной плоскости рассматриваемого меридиана [10, 11]:

$$\frac{x-x_0}{A} = \frac{y-y_0}{B} = \frac{z-z_0}{C} = t. \quad (12)$$

Исходя из (12) значения координат точки W определяются выражениями:

$$\begin{aligned}x_w &= At + x_s , \\y_w &= Bt + y_s , \\z_w &= z_s .\end{aligned}\quad (13)$$

В результате подстановки выражения (13) для координат точки W в уравнение плоскости (8) можно записать выражение для формальной переменной t:

$$t = -\frac{Ax_s + By_s}{A^2 + B^2}. \quad (14)$$

Выражение (14) с учетом последнего выражения можно переписать в виде:

$$\begin{aligned}x_w &= -A \frac{Ax_s + By_s}{A^2 + B^2} + x_s ; \\y_w &= -B \frac{Ax_s + By_s}{A^2 + B^2} + y_s \\z_w &= z_s .\end{aligned}\quad (15)$$

Согласно (10), (11), (9), помня, что так как  $A = \cos \alpha_g$ , то  $(1-A)^2 = \sin^2 \alpha_g$ , можно записать выражение для координаты  $x_w$ :

$$\begin{aligned}x_w &= \sin^2 \alpha_g \cdot \sin \alpha_s \cdot \cos \delta_s + \\&+ \cos \alpha_g \cdot \sin \alpha_g \cdot \cos \alpha_s \cos \delta_s = \\&= \sin \alpha_g \cdot \cos \delta_s (\sin \alpha_g \sin \alpha_s + \cos \alpha_g \cdot \cos \alpha_s) .\end{aligned}$$

Используя формулу косинуса разности

углов [10, 11] последнее выражение переписывается в виде:

$$x_w = \sin \alpha_g \cdot \cos \delta_s \cdot \cos(\alpha_s - \alpha_g). \quad (16)$$

Аналогично, согласно (10), (11), (9), помня, что  $(1-B^2) = \cos^2 \alpha_g$  можно записать выражение для координаты  $y_w$ :

$$\begin{aligned}y_w &= \sin \alpha_g \cdot \cos \alpha_g \cdot \sin \alpha_s \cdot \cos \delta_s + \\&+ \cos^2 \alpha_g \cdot \cos \alpha_s \cos \delta_s = \\&= \cos \alpha_g \cdot \cos \delta_s (\sin \alpha_g \sin \alpha_s + \cos \alpha_g \cdot \cos \alpha_s) .\end{aligned}$$

Используя формулу косинуса разности углов [10, 11]:

$$y_w = \cos \alpha_g \cdot \cos \delta_s \cdot \cos(\alpha_s - \alpha_g). \quad (17)$$

Не трудно показать, что с учетом (2) согласно (15):

$$z_w = \sin \delta_s . \quad (18)$$

Отклонение  $\Delta\alpha$  по прямому восхождению, с точки зрения геометрии, является центральным углом между точкой S, расположенной на сфере единичного радиуса, и плоскостью NOE меридиана эталона, который соответствует точке G (рисунок 1).

Аналитическое выражение для нахождения значения отклонения  $\Delta\alpha$  по прямому восхождению можно найти следующим образом.

Угол между вектором точки G с координатами  $(x_g, y_g, z_g)$  и плоскостью меридиана эталона с параметрами A, B определяется выражением [10, 11]:

$$\sin \Delta\alpha = \frac{Ax + By + Cz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \times \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \quad (19)$$

Знаменатель в выражении (19) равен 1, так как вектор  $\overline{OS}$  и все 3 точки, используемые для построения плоскости меридиана, расположены на сфере единичного радиуса.

Исходя из выражений для параметров прямой (8) и координат вектора  $\overline{OS}$  (10) значение искомого отклонения  $\Delta\alpha$  по прямому восхождению (значение угла между плоскостью меридиана эталона (8) и вектором  $\overline{OS}$ ) может быть представлено выражением:



$$\Delta\alpha = \arcsin((\cos\alpha_g \cdot \sin\alpha_s - \sin\alpha_g \cdot \cos\alpha_s) \cdot \cos\delta_s).$$

Используя тождество [10, 11]:

$$\sin(\alpha - \delta) = \cos\delta \cdot \sin\alpha - \sin\delta \cdot \cos\alpha.$$

Последнее выражение можно переписать в виде:

$$\Delta\alpha = \arcsin(\sin(\alpha_s - \alpha_g) \cdot \cos\delta_s). \quad (20)$$

Выбор способа нахождения угла через значение его синуса связан с тем, что функция синуса однозначно определена в первом и четвертом квадрантах, в отличие от косинуса.

При проведении астрономических наблюдений исследуемые отклонения не превышают единицу угловых секунд. Известно, что значение синуса малых углов равно значению (в радианах) этих углов. Исходя из этого, в частном случае малых значений отклонений выражение (20) для отклонения  $\Delta\alpha$  по прямому восхождению можно переписать в виде (1).

Иногда кроме значения синуса искомого угла целесообразно дополнительно иметь значение косинуса данного угла. Для нахождения косинуса  $\cos(\Delta\alpha)$  отклонения по прямому восхождению необходимо найти угол между векторами  $\overline{OS}$  и  $\overline{OW}$ , где точка  $W$  является проекцией измерения (точки  $S$ ) на плоскость меридиана эталона (рисунок 1). Для этого можно воспользоваться выражением (4):

$$\Delta\alpha = \arccos(x_s x_w + y_s y_w + z_s z_w). \quad (21)$$

С учетом выражений (10) и (11) для координат измерения (точка  $S$ ) и его проекции на меридиан эталона (точка  $W$ ) не трудно доказать тождество:

$$\begin{aligned} x_s x_w + y_s y_w + z_s z_w &= \\ \sin\alpha_s \cdot \cos^2\delta_s \cdot \sin\alpha_g \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) + \\ + \cos\alpha_s \cdot \cos^2\delta_s \cos\alpha_g \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) + \sin^2\delta_s &= \\ = \cos^2\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \times \\ \times (\sin\alpha_s \cdot \sin\alpha_g + \cos\alpha_s \cdot \cos\alpha_g) + \sin^2\alpha_s &= \\ = \sin^2\delta_s + \cos^2\delta_s \cdot \cos^2(\alpha_g - \alpha_s) &= \\ = \sin^2\delta_s \sin^2(\alpha_g - \alpha_s) + \cos^2(\alpha_g - \alpha_s) \end{aligned}$$

Таким образом, выражение для отклонения  $\Delta\alpha$  по прямому восхождению может быть представлено как через функцию арксинуса (1) так и через функцию арккосинуса:

$$\Delta\alpha = \arccos(\sin^2\delta_s + \cos^2\delta_s \cos^2(\alpha_g - \alpha_s)). \quad (22)$$

Как было указано выше, отклонение  $\Delta\alpha$  по склонению представляет собой отклонение между оценками положения небесного объекта внутри меридиана одной из оценок. Для его нахождения необходимо определить координаты точки  $W$ , которая является проекцией точки  $S$  на плоскость меридиана.

Иными словами, отклонение  $\Delta\delta$  по склонению, с точки зрения геометрии сферы, представляет собой угол между векторами  $\overline{OG}$  и  $\overline{OW}$ . (рисунок 1), то есть центральный угол между направлениями на эталон и проекцию измерения на плоскость меридиана эталона.

Аналитическое выражение для нахождения значения отклонения  $\Delta\delta$  по склонению можно найти следующим образом.

Значение угла между двумя рассмотренными векторами  $\overline{OG}$  и  $\overline{OW}$  определяется выражением (4):

$$\Delta\delta = \arccos(x_g x_w + y_g y_w + z_g z_w). \quad (23)$$

С учетом выражений (10) и (11) для нахождения координат измерения (точка  $S$ ) и его проекции на меридиан эталона (точка  $W$ ) не трудно доказать тождество:

$$\begin{aligned} x_g x_w + y_g y_w + z_g z_w &= \\ \sin^2\alpha_g \cdot \cos\delta_g \cdot \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) + \\ + \cos^2\alpha_g \cdot \cos\delta_g \cos\delta_s \times \\ \times \cos(\alpha_g - \alpha_s) + \sin\delta_g \sin\delta_s &= \\ = \cos\delta_g \cdot \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \times \\ \times (\sin^2\alpha_g + \cos^2\alpha_g) + \sin\delta_g \sin\delta_s &= \\ = \sin\delta_s \sin\delta_g + \cos\delta_s \cos\delta_g \cos(\alpha_g - \alpha_s). \end{aligned}$$

Таким образом, выражение для отклонения  $\Delta\delta$  по склонению может быть представлено также через функцию арккосинуса:

$$\Delta\delta = \arccos(\sin\delta_s \sin\delta_g + \cos\delta_s \cos\delta_g \cos(\alpha_g - \alpha_s)) \quad (24)$$

Как и для случая отклонения по прямому восхождению, кроме выражения для косинуса отклонения по склонению, целесообразно найти выражение для синуса данного отклонения. Значение синуса отклонения по склонению  $\Delta\delta$  между двумя заданными векторами  $\overline{OG}$  и  $\overline{OW}$  определяется как отношение модуля векторного произведения этих векторов к произведению их модулей [10, 11]:

$$\sin\Delta\delta = \frac{|\overline{OG} \times \overline{OW}|}{|\overline{OG}| \cdot |\overline{OW}|}. \quad (25)$$

Модули исходных векторов  $\overline{OG}$  и  $\overline{OW}$  равны 1, так как они лежат на сфере единичного радиуса.

Таким образом, значение синуса отклонения по склонению  $\Delta\delta$  может быть представлено выражением:

$$\sin\Delta\delta = |\overline{OG} \times \overline{OW}|. \quad (26)$$

Координаты векторного произведения векторов  $\overline{OG}$  и  $\overline{OW}$  можно записать в виде [10, 11]:

$$\begin{pmatrix} x_{GW} \\ y_{GW} \\ z_{GW} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_g z_w - y_w z_g \\ x_w z_g - x_g z_w \\ x_g y_w - x_w y_g \end{pmatrix}. \quad (27)$$

С учетом выражений (11), (16), (17), (18), для координат эталона (точка G) и проекции измерения на плоскость меридиана эталона (точка W) координаты рассматриваемого векторного произведения примут вид:

$$\begin{aligned} x_{GW} &= \cos\alpha_g \cdot \cos\delta_g \cdot \sin\delta_s - \\ &- \cos\alpha_g \cdot \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \cdot \sin\delta_g; \\ y_{GW} &= \sin\alpha_g \cdot \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \times \\ &\times \sin\delta_g - \sin\alpha_g \cdot \cos\delta_g \cdot \sin\delta_s; \\ z_{GW} &= 0. \end{aligned}$$

Выражение для квадрата модуля искомого векторного произведения векторов  $\overline{OG}$  и  $\overline{OW}$  имеет вид [10, 11]:

$$\begin{aligned} |\overline{OG} \times \overline{OW}|^2 &= x_{GW}^2 + y_{GW}^2 + z_{GW}^2 = \\ &= \cos^2\alpha_g \cdot \cos^2\delta_g \cdot \sin^2\delta_s + \\ &+ \cos^2\alpha_g \cdot \cos^2\delta_s \cdot \cos^2(\alpha_g - \alpha_s) \cdot \sin^2\delta_g - \\ &- 2\cos^2\alpha_g \cdot \cos\delta_g \cdot \sin\delta_s \times \\ &\times \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \cdot \sin\delta_g + \\ &+ \sin^2\alpha_g \cdot \cos^2\delta_s \cdot \cos^2(\alpha_g - \alpha_s) \cdot \sin^2\delta_g + \\ &+ \sin^2\alpha_g \cdot \cos^2\delta_g \cdot \sin^2\delta_s - \\ &- 2\sin^2\alpha_g \cdot \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \times \\ &\times \sin\delta_g \cdot \cos\delta_g \cdot \sin\delta_s. \end{aligned} \quad (28)$$

Первое и пятое слагаемые последнего выражения имеют общие множители  $\cos^2\delta_g \cdot \sin^2\delta_s$ . Их индивидуальными множителями являются  $\cos^2\alpha_g$  и  $\sin^2\alpha_g$ .

Следовательно, сумма данных слагаемых представляется выражением  $\cos^2\delta_g \cdot \sin^2\delta_s$ . По аналогичной причине сумма второго и четвертого слагаемых последнего выражения может быть представлена выражением:

$$\cos^2\delta_s \cdot \cos^2(\alpha_g - \alpha_s) \cdot \sin^2\delta_g.$$

В свою очередь сумма третьего и шестого слагаемых последнего выражения определяется выражением:

$$\cos\delta_g \cdot \sin\delta_s \cdot \cos\delta_s \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) \cdot \sin\delta_g.$$

Таким образом, выражение (28) примет вид:

$$\begin{aligned} |\overline{OG} \times \overline{OW}|^2 &= \\ &= \sin^2\delta_s \cos^2\delta_g + \cos^2\delta_s \sin^2\delta_g \cos^2(\alpha_g - \alpha_s) - \\ &- 2\sin\delta_s \cdot \cos\delta_g \cdot \cos\delta_s \times \\ &\times \sin\delta_g \cdot \cos(\alpha_g - \alpha_s) = \\ &= (\sin\delta_s \cos\delta_g - \cos\delta_s \sin\delta_g \cos(\alpha_g - \alpha_s))^2. \end{aligned} \quad (29)$$

Таким образом, согласно (26), (29) отклонение по склонению  $\Delta\delta$  может быть представлено выражением:

$$\Delta\delta = \pm \arcsin(\sin\delta_s \cos\delta_g - \cos\delta_s \sin\delta_g \cos(\alpha_g - \alpha_s)). \quad (30)$$

Выражения (24), (30) представляют значения синуса и косинуса отклонения по склонению. Иногда, для однозначности расчета значений угла на интервале от 0 до  $2\pi$ , необходимо использовать оба эти значения. Почти всегда в практике современных астрономических наблюдений отклонение не превышает нескольких угловых секунд. В этих условиях для определения отклонения по склонению необходимо использовать выражение (30). Связано это с тем, что функция синуса однозначно определена в первой и четвертой четвертях.

Относительно анализа физического смысла выражений для отклонения по склонению  $\Delta\delta$  (24), (30). Выражение под арксинусом в (30) без множителя второго слагаемого  $\cos(\alpha_g - \alpha_s)$  представляет собой выражение для синуса разности  $\Delta\delta = \delta_s - \delta_g$ .

Согласно современной практике астрономических наблюдений отклонение  $\Delta\alpha = \alpha_g - \alpha_s$  по прямому восхождению мало (не превышает единицу угловых секунд).

Следовательно, чаще всего  $\cos(\alpha_g - \alpha_s) \cong 1$ . Следовательно, чаще всего выражение (30) является тождеством  $\Delta\delta = \arcsin(\sin(\Delta\delta))$ . Иными словами, при малых значениях (что соответствует практике современных астрономических наблюдений) отклонения по прямому восхождению  $\Delta\alpha = \alpha_g - \alpha_s$  отклонение по склонению  $\Delta\delta$  может быть определено путем простого алгебраического вычитания значений склонения, содержащихся в измерении и каталоге (или в разных каталогах):

$$\Delta\delta = \delta_s - \delta_g. \quad (31)$$

### Анализ

Для анализа (24), (30) интересен другой крайний случай. Случай, когда значение  $\Delta\alpha = \alpha_g - \alpha_s$  составляет примерно 180 градусов. Такой случай может иметь место при наблюдении полярной области, когда «измерение» и «эталон» находятся «с разных сторон полюса». С формальной точки зрения,  $\cos(\alpha_g - \alpha_s)$  принимает значение -1. При этом, выражение под арксинусом в (30) без множителя второго слагаемого  $\cos(\alpha_g - \alpha_s)$  представляет собой выражение для синуса

суммы  $\delta_s + \delta_g$ . Для анализа, с учетом рассмотрения приполярной области, обе оценки склонения удобно представить следующим образом  $\delta_s = \pi/2 - \varepsilon_s$ ,  $\delta_g = \pi/2 - \varepsilon_g$ . Используя формулы приведения [10, 11], не трудно доказать тождество

$$\begin{aligned} \sin(\delta_s + \delta_g) &= \\ \sin(\pi/2 - \varepsilon_s + \pi/2 - \varepsilon_g) &= \\ \sin(\pi - (\varepsilon_s + \varepsilon_g)) &= \sin(\varepsilon_s + \varepsilon_g). \end{aligned}$$

Следовательно, согласно (30) выражение для отклонения по склонению в данном частном случае примет вид:

$$\Delta\delta = \varepsilon_s + \varepsilon_g. \quad (32)$$

Иными словами, в данном частном случае расположения «измерения» и «эталона» с разных сторон полюса отклонение по склонению равно сумме дополнений значений оценок склонений объекта до  $\pi/2$ .

Например, две оценки склонения одной звезды (одного небесного объекта) одинаковы и составляют 89 градусов, а соответствующие им оценки прямого восхождения равны соответственно 30 и 210 градусов. Прямой расчет арифметической разности даст нулевое значение отклонения по склонению (согласно выражению (31)) и отклонение в 180 градусов по прямому восхождению.

Анализ свидетельствует в пользу ложности данных вычислений. Обе рассматриваемые оценки находятся на одном меридиане (на одной дуге большого круга, проходящей через полюс сферы).

Следовательно, отклонение по прямому восхождению должно быть равно 0, а отклонение по склонению составлять 2 градуса ( $2 = (90 - 89) + (90 - 89)$ ). В отличие от прямого расчета разности формула (32) явно указывает на правильный ответ в 2 градуса. Естественно, такой же ответ будет дан при использовании вместо нее более общей формулы (30).

### Выводы

В статье уточнены выражения для аналитического расчета отклонений различных оценок положения звездного объекта в экваториальной системе координат, минимум

суммы которых является критерием совершенного паросочетания в задаче отождествления астрономического CCD-кадра со звездным каталогом. Было доказано, что выражение для отклонения  $\Delta\delta$  по склонению представляется выражениями (24), (30). В свою очередь отклонение по прямому восхождению представляется формулами (20), (22).

Использование традиционных выражений, как показал приведенный в статье анализ, не всегда оправдано, а так же неприемлем при наблюдении небесных объектов в полярных областях, что особенно важно для астрономов-наблюдателей при проведении современных исследований.

#### Список литературы

1. **Hogg, D. W.** Astronomical imaging: The theory of everything, Classification and Discovery in Large Astronomical Survey / **D. W. Hogg, D. Lang** // AIP Conference Proceedings **1082** – 2008 – P.331–338.
2. **Lang, D.** Astrometry.net: Blind astrometric calibration of arbitrary astronomical images / **D. Lang, D. W. Hogg, K. Mierle, M. Blanton, S. Roweis** // *The Astronomical Journal* **139** – 2010 – P. 1782–1800.
3. **George, E. Smith** The invention and early history of the CCD / **E. Smith George** // *Rev. Mod. Phys.* – 2010. – V. 3, № 82. – P. 2307–2312.
4. **Janesick, J. R.** Scientific Charge-Coupled Devices (SPIE Press Monograph Vol. PM83) / **J. R. Janesick** // SPIE Publications – 2001. – P. 920
5. **Дума, Д. П.** Загальна астрометрія. Навчальний посібник / **Д.П. Дума** – Київ: Наукова думка, 2007. – 600 с.
6. **Киселев, А.А.** Теоретические основания фотографической астрометрии / **Киселев А.А.** – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит, 1989. – 264 с.
7. **Majewski, S. R.** Coordinate systems (2011) // [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/astr551/lectures/COORDS/coords.html> – Название с экрана.
8. **Oliver, M.** Astronomy on the Personal Computer / **M. Oliver, P. Thomas** // Springer-Verlag Berlin Heidelberg., – 2000 – P. 35-37
9. **Karttunen, H.** Fundamental Astronomy / **H. Karttunen, P. Kroger, H. Oja, M. Poutanen, K. J. Donner** // Berlin: Springer, – 2003 – 4th ed
10. **Виноградов И.М.**, Аналитическая геометрия / **И.М. Виноградов** – М.: Наука, Гл. Ред. физ.-мат. лит, 1986. – 176 с.
11. **Бортаковский А.С.** Аналитическая геометрия в примерах и задачах: Учеб. пособие / **А.С. Бортаковский, А.В. Пантелеев** // – М.: Высш. шк., 2005. – 496 с.

#### Referens

1. **Hogg, D. W., Lang D.** Astronomical imaging: The theory of everything, Classification and Discovery in Large Astronomical Survey. AIP Conference Proceedings **1082**, 2008, P.331-338.
2. **Lang, D. Hogg, D. W., Mierle, K., Blanton, M., Roweis S.** Astrometry.net: Blind astrometric calibration of arbitrary astronomical images. *The Astronomical Journal* **139**, 2010, P. 1782-1800.
3. **George, E. Smith** The invention and early history of the CCD. *Rev. Mod. Phys.* 2010, V. 3, № 82, P. 2307–2312.
4. **Janesick, J. R.** Scientific Charge-Coupled Devices (SPIE Press Monograph Vol. PM83) SPIE Publications, 2001, P. 920
5. **Duma, D. P.** General astrometry. Textbook. Kiev Naukova Dumka, 2007, 600 с.
6. **Kiselev, A. A.** Theoretical foundations of photographic astrometry. М.: Science, Ch. Ed. physical and mathematical. Lit., 1989, P. 264.
7. **Majewski, S. R.** (2011) Coordinate systems <http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/astr551/lectures/COORDS/coords.html>.
8. **Oliver, M., Thomas P.** Astronomy on the Personal Computer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg., – 2000 – P. 35-37
9. **Karttunen, H.** Fundamental Astronomy / **H. Karttunen, P. Kroger, H. Oja, M. Poutanen, K. J. Donner** // Berlin: Springer, 2003, 4th ed.
10. **Vinogradov I. M.** Analytic geometry. М.: Science, Ch. Ed. Sci. Lit., 1986, 176 p.
11. **Bortakovskii A.S., Panteleev A. V.** Analytic geometry in examples and problems: Proc. allowance. М.: Higher. SK, 2005, 496 p.

Надійшла (received) 18.02.2015

ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ  
МАТЕРІАЛІВ ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 669.715:621.785

НИЗЬКОТОКСИЧНИЙ ФЛЮС ДЛЯ ОБРОБКИ AL-SI СПЛАВІВ, ОТРИМАНИХ  
РЕЦИКЛІНГОМ ЛОМУ ТА ВІДХОДІВ

О. Л. СКУЙБІДА\*

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, УКРАЇНА  
\*email: eskuybeda@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Розглянуті еколого-економічні аспекти використання вторинної сировини для виробництва алюмінієвих сплавів. Розроблено флюс для рафінування та часткового модифікування Al-Si сплавів, отриманих шляхом рециклінгу. Встановлено, що використання даного флюсу дозволяє отримати щільні відливки, сприятливу дрібнодисперсну структуру та порівняно високий рівень механічних властивостей вторинного силуміну АК9М2. Показано, що розроблений флюс є низькотоксичним препаратом

**Ключові слова:** рециклінг, клас небезпеки, флюс, токсичність, вторинна сировина, силумін

**АННОТАЦИЯ** Рассмотрены эколого-экономические аспекты использования вторичного сырья для производства алюминиевых сплавов. Разработан флюс для рафинирования и частичного модифицирования Al-Si сплавов, полученных путём рециклинга. Установлено, что использование данного флюса позволяет получить плотные отливки, благоприятную мелкодисперсную структуру и сравнительно высокий уровень механических свойств вторичного силумина АК9М2. Показано, что разработанный флюс является низкотоксичным

**Ключевые слова:** рециклинг, класс опасности, флюс, токсичность, вторичное сырьё, силумин

LOW-TOXIC FLUX FOR TREATMENT OF AL-SI ALLOYS MADE BY  
RECYCLING OF SCRAPE AND WASTE

O. SKUIBIDA\*

\* Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, UKRAINE

**ABSTRACT** The paper is devoted to solving an important scientific, technical and ecological problem – improving the quality of Al-Si alloys made from secondary materials. Use of scrape and waste leads to a significant reduction of energy costs, decrease of use of non-renewable energy sources and ores compared with the production of primary alloys, and reduces anthropogenic impact on the environment. The aim is to create a low-toxic refining flux, which provides low gas saturation, obtaining dense defect-free castings, improving the structure and mechanical properties of recycled aluminum alloys. Using fine-grained powders and carbonates the flux was designed. It consists mainly of components without class of danger or substances of the 3-4 class of danger; so it is low-toxic and favorable from the point of safety, labour and the environment protection. In the amount near 1 % of the metal it provides protection against oxidation and effectively refines from oxides and hydrides, positively influences on the structure of secondary silumin АК9М2. The components of the flux helps to remove dissolved hydrogen and oxide inclusions, reduces the sizes and favorable changes the shape of silicon- and iron-based phases. Flux treatment provided the improvement of mechanical properties of the alloy compared with untreated condition: hardness increased on 36%, tensile strength - 35% and relative elongation - 50%. The complex is not inferior to the effectiveness of similar common fluxes. The level of mechanical properties satisfied the requirements of ДСТУ 2839-94.

**Keywords:** recycling, class of danger, flux, toxicity, secondary raw materials, silumin

Вступ

В сучасних умовах алюміній та сплави на його основі є одними з найбільш затребуваних та перспективних матеріалів. Головною

проблемою рециклінгу алюмінієвих сплавів є порівняно низька якість готової продукції. Вторинні алюмінієві сплави мають широкий інтервал вмісту основних компонентів та

© О. Л. СКУЙБІДА, 2015

значну кількість домішок в складі, характеризуються підвищеною газонасиченістю. Вітчизняна та зарубіжна металургійна практика свідчать про можливості суттєвого підвищення якості вторинних сплавів і використання їх замість первинних аналогів, а також сталей та чавунів. Флюсове рафінування є ефективним, простим, технологічним і економічним методом очищення алюмінієвих сплавів від водню та оксидів алюмінію, і його можна рекомендувати для обробки силумінів, виготовлених із вторинної сировини. Сьогодні основною проблемою є широке використання токсичних екологічно небезпечних рафінувальних флюсів, а також їх низька ефективність. Відповідно, виникає потреба в розробці рафінувальних флюсів, які б забезпечували вилучення водню та оксидів алюмінію при плавленні, позитивно впливали на всі структурні складові силумінів на основі вторинної сировини, подрібнюючи частинки виділень фаз або змінюючи їх морфологію, підвищували однорідність структури і забезпечували стабільні механічні та експлуатаційні властивості виливків за мінімального негативного впливу на довкілля, виробничий персонал та населення.

#### Мета роботи

Метою роботи є створення низькотоксичного рафінувального комплексу, який забезпечує зниження газонасиченості, отримання щільних бездефектних відливок, покращення структури та підвищення механічних властивостей алюмінієвих сплавів, отриманих шляхом рециклінгу.

#### Викладення основного матеріалу

Електролітичний спосіб отримання алюмінію з глинозему забезпечує вихід продукції високої якості, проте пов'язаний з низкою недоліків: небезпечними умовами праці виробничого персоналу, забрудненням довкілля, накопиченням відходів та вичерпуванням природних ресурсів. Зокрема, на виробництво 1 т первинного алюмінію необхідно затратити близько 14...16 тис. кВт·год електроенергії. При цьому в навколишнє середовище потрапляє 3...3,5 кг CO, 11...12 кг NO<sub>2</sub>, 2...2,5 кг SO<sub>2</sub>, 2...2,5 кг органічних кислот, 5,5...6 кг сажі, 6,5...7,7 кг C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, 2600...2650 кг (CO+CO<sub>2</sub>) та інших шкідливих речовин [1], які є причиною руйнування озонового шару, кислотних опадів,

смогу. Електроліз алюмінію супроводжується викидом твердих фторидів [2] у вигляді пилу електрофільтрів (13...20 кг/т алюмінію), шламів газоочищення (10...13 кг/т алюмінію), хвостів флотації вугільного пилу (10...25 кг/т алюмінію).

Основна частина твердих відходів накопичується на шламових полях. Найбільшу екологічну небезпеку для довкілля становлять кріоліт, хіоліт, фториди алюмінію та натрію. Надходження в довкілля забруднювачів викликає серцево-судинні захворювання, порушення кровообігу, ураження нервової системи, розвиток хронічного бронхіту та раку легень. Оскільки більшість алюмінієвих підприємств обладнана лише циклонами, то газу, які утворюються, повністю потрапляють у навколишнє середовище, а очищення від пилу не перевищує 90 %. На границі санітарно-захисної зони та території підприємства спостерігається перевищення ГДК за пилом до 2...3,5 разів, а за оксидом вуглецю – до 1,2...1,6 разів. На границі санітарно-захисної та житлової зон – перевищення за пилом в 1,1...1,4 рази [3].

Металургія алюмінію на базі вторинної сировини має низку переваг в порівнянні з використанням руди. В першу чергу підприємства, які виготовляють вторинні сплави, виконують екологічну функцію: сприяють економії основної сировини, запобігають надмірному забрудненню водойм, ґрунтів та повітряного басейну. Використання лому та відходів дозволяє вирішити проблему накопичення низькосортного брухту, утилізувати його та отримати матеріал, що може замінити первинний аналог. Використання вторинних ресурсів дозволяє суттєво підвищити техніко-економічні показники виробництва за рахунок зниження собівартості алюмінієвих сплавів на 25...50 %. Так, для отримання 1 т вторинних алюмінієвих сплавів використовується в 2,4...6 разів менше сировини та в 10...23 рази менше електроенергії, ніж для 1 т первинного алюмінію [4]. Рециклінг алюмінієвих сплавів дозволяє зменшити капітальні вкладення в 6...10 разів.

Впровадження ресурсозберігаючих технологій та збільшення строків служби обладнання призвели до зниження темпів утворення брухту при одночасному збільшенні потреби в новому металі. В Європейському Союзі нині випускається близько 5,1 млн. т первинного та 5,2 млн. т вторинного алюмінію на рік. Разом з тим вторинна переробка

алюмінію ускладнена утворенням шлаку, частка якого може складати 9...18 % від маси розплавленого алюмінію. Зі збільшення шлакоутворення зростають втрати металевого алюмінію (разом зі шлаком та у вигляді оксиду). В шлаках містяться нітриди, сульфід, карбід алюмінію, які здатні до гідролізу. В дощову погоду вони виділяються у вигляді аміаку, ацетилену, пропану та сірководню, тобто речовин 2...4 класу небезпеки.

Постійне підвищення вимог до якості литих заготовок обумовлює недостатню ефективність простого переплавлення вторинної сировини [5-8]. Традиційна технологія отримання силумінів шляхом рециклінгу передбачає переплав лому під покривним флюсом з наступним рафінуванням розплаву. Аналіз об'ємів та складів пилогазових викидів, які утворюються при виробництві алюмінієвих сплавів показав, що основну небезпеку в екологічному контексті мають процеси рафінувальної обробки.

В більшості випадків для рафінування використовують флюси системи NaCl-KCl-Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, калієвий кріоліт, фтористий алюміній, кремнійфтористий натрій та калій, фтористий та хлористий літій, що пояснює присутність у відходящих газах значної кількості хлоридів та фторидів, які відносяться до 2-го класу небезпеки. Тому низку екологічних проблем, які виникають при плавленні та рафінуванні, можна успішно вирішити при використанні низькотоксичних рафінувальних флюсів. Недосконала технологія переробки позначається на низькій якості вторинних силумінів. Зокрема, широке використання силумінів в машинобудуванні передбачає їх контакт з різними середовищами [9], тому окрім затребуваного високого рівня механічних та експлуатаційних властивостей сплави повинні мати і високу корозійну стійкість.

Управління металургійними факторами не потребує значних витрат, дозволяючи при цьому впливати на процеси структуроутворення, а, відповідно, і якість відливок з високою ефективністю. Силуміни, виготовлені з лому та відходів виробництва, є складними багатокомпонентними системами з великою кількістю розчинених газів, неметалевих вкраплень, надлишкових фаз кристалізаційного походження та вторинних виділень, неоднорідною і крупнозернистою структурою, що, в свою чергу, обумовлює низьку якість готових виробів. Підвищення механічних та технологічних властивостей вторинних алюмінієвих сплавів досягається

переважно позапічною обробкою розплаву, що дозволяє отримати матеріал зі сприятливою структурою, а також зменшити вміст водню та оксидів алюмінію. Методи рафінування надійно закріпилися в технологічних процесах завдяки своїй простоті та економічній доцільності при обробці алюмінієвих сплавів, виготовлених з лому та відходів, проте підвищення рівня вимог до якості виливків та екологічної безпеки потребує їх удосконалення.

Відповідно до поставлених задач, нами було розроблено флюс для обробки алюмінієвих сплавів. Даний рафінувальний флюс має наступний склад: 25...30 % NaCl; 3...10 % S; 2,0...5,0 % KBF<sub>4</sub>; 1,5...5,0 % Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 1,5...5,0 % SrCO<sub>3</sub>; 0,5...2,0 % Ti; 0,5...0,8 % SiC; 0,2...0,5 % C; решта AlF<sub>3</sub>. На експериментальний флюс отримано патент України № 44463. Дослідження проводили на вторинному сплаві АК9М2 наступного хімічного складу: 8,38...8,41 % Si; 1,90...1,91 % Cu; 0,99...1,0 % Fe; 0,83...0,84 % Zn; 0,8 % Mg; 0,26 % Mn; 0,06 % Ni; 0,05 % Ti; решта Al. Плавлення силуміну АК9М2 відбувалось під шаром стандартного флюсу (15 % KCl; 45 % NaCl; 40 % AlF<sub>3</sub>). Здійснювали обробку розплаву розробленим флюсом та модифікатором у кількості 1,0 % та 0,1 % відповідно. Дослідження сплаву проводили після термічної обробки за режимом Т6.

Особливістю структури силумінів, отриманих рециклінгом, є наявність великої кількості інтерметалідних фаз, які відіграють роль концентраторів напружень в матеріалі [10-12]. Легування залізовмісної фази сіркою, яка має чотири валентних електрони на зовнішній електронній оболонці, викликає збільшення електронної густини, рівномірності розподілу електронів та втрату направленості зв'язків міжатомної взаємодії. В результаті відбувалась зміна хімічного зв'язку на металевий ненаправлений і кристалізаційні утворення залізовмісних фаз набували сприятливої морфології. За ефективністю впливу дія сірки на залізовмісні фази наближалась до використання лазерної обробки [13-15]. Сірка в складі флюсу забезпечувала сильний рафінувальний вплив на розплав внаслідок утворення значної кількості пароподібного продукту, інтенсивного барботажу металу та пов'язаного з цим видалення оксидних вкраплень і розчиненого водню за адсорбційним і флотажним механізмами.

Карбонати натрію та стронцію дисоціюють з виділенням вуглекислого газу,

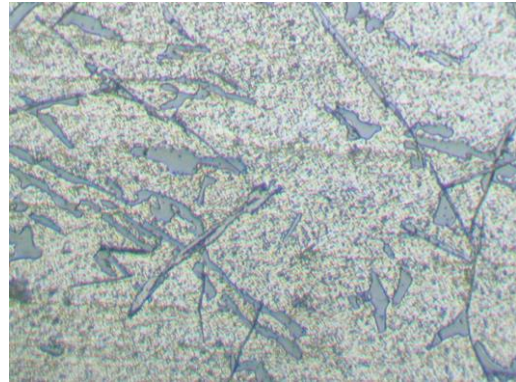
що забезпечувало додаткове рафінування розплаву. Від'ємний ізобарно-ізотермічний потенціал реакції утворення сполуки  $H_2S$  ( $\Delta G_{1000}^{\circ K} = -41,0$  кДж/моль) дозволяє стверджувати, що сірка зв'язувала розчинений водень та, відповідно, викликала зменшення балу газової пористості у виливках.

Ультрадисперсні частинки карбїду кремнію, а також інтерметалїдів  $Al_3Ti$ , що утворювались в розплавї, виконували роль додаткових центрів кристалїзації та сприяли подрїбненню мїкроструктури. Тетрафторборат калїю забезпечував отримання модифїкованих структур евтектичного кремнію, а також підвищував термостабїльнїсть структур за рахунок підвищення температур фазових перетворень. Сіль  $KBF_4$  взаємодїє з алюмінієм за екзотермічною реакцією, яка проходить з відновленням бору та заміщенням його алюмінієм в шлаці. Продуктами реакції є борид та алюмїд титану. Активне пов'язування титану в борид збільшувало його засвоюваність та підвищувало ефективнїсть процесу зародкоутворення, оскільки частинки  $B_2Ti$  виступають підкладинами для зародження зерен (Al) при кристалїзації. Спільне введення титану та тетрафторборату калїю забезпечувало максимальне засвоєння бору.

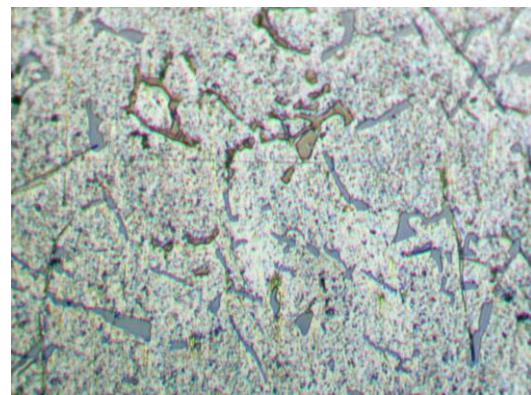
Фторид алюмінію сприяв зменшенню натягу на межї подїлу метал-флюс та розчиненню плївки оксиду алюмінію. Також  $AlF_3$  і S зв'язували домішки вторинних алюмінієвих сплавів в сполуки  $MgF_2$  ( $\Delta G_{1073}^{\circ K} = -392$  кДж/моль) та  $MgS$  ( $\Delta G_{1073}^{\circ K} = -293$  кДж/моль) відповідно, які в подальшому відшлаковувалися. Використання сумїші хлоридів та фтористої солї сприяло збільшенню крайового кута змочування, збільшенню поверхневого натягу та змїцненню плївки на поверхнї сольового розплаву, що збільшувало ефективнїсть процесу рафінування.

Мїкроструктуру зразків після плавлення під стандартним флюсом та термічної обробки за режимом Т6 (обробка 1), а також плавлення під стандартним флюсом, обробки експериментальним флюсом і модифїкатором, а також термічної обробки (обробка 2) подано на рисунку 1. Проведенї дослідження показали, що використання розробленого рафінувального флюсу дозволило отримати більш сприятливу структуру сплаву АК9М2. Спостерїгали формування дрібнодисперсних та рївномїрно розподїлених структурних складових, змїну форми інтерметалїдів на основї залїза з

пластинчастої на многогранну або у виглядї китайських ієрогліфів.



а



б

Рис. 1 – Вплив флюсової обробки на мїкроструктуру сплаву АК9М2 (x400):  
 а – обробка 1; б – обробка 2

Двоступенева обробка вторинного сплаву АК9М2 забезпечила формування дрібнозернистої структури, а в зв'язку зї значною спадковїстю алюмінієвих сплавів це дозволяє пояснити вищий рївень механїчних властивостей силумїну (табл. 1) при наступних технологїчних переробках.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень дїї флюсу на механїчні властивостї сплаву АК9М2

Обробка	НВ	$\sigma_B^p$ , МПа	$\delta$ , %
1	70	220	1,2
2	95	297	1,8
ДСТУ	85	274	1,5



## Обговорення результатів

Експериментальні плавки показали, що при використанні розробленого флюсу в порівнянні з необробленим станом (плавлення під стандартним флюсом) газова пористість сплаву АК9М2 зменшилась до 1 балу, твердість збільшилась на 25 одиниць за шкалою Брінеля, міцність на 77 МПа, а пластичність зросла в 1,5 рази. Таким чином, розроблений флюс забезпечує комплексний вплив на силуміни, виготовлені із вторинної сировини, захищаючи розплави від окислення, сприяючи вилученню оксидних вкраплень та розчинених газів, а також подрібнюючи структурні складові сплавів. Рівень механічних властивостей вторинного силуміну АК9М2 при застосуванні оптимальної кількості розробленого флюсу (1 % від маси сплаву) задовольняв вимогам ДСТУ 2839-94.

## Висновки

Аналіз ситуації на світовому ринку кольорових металів свідчить про невідповідне зростання виробництва алюмінієвих сплавів з лому та відходів машинобудівних підприємств. Переробка вторинної алюмінієвої сировини приводить до значного скорочення енергетичних витрат та зменшення обсягів використання непоновлюваних джерел енергії порівняно з виробництвом первинних сплавів, а також дозволяє зменшити техногенне навантаження на довкілля. Утилізація та вторинне використання (рециклінг) металовідходів є однією з найважливіших проблем сучасного машинобудування. Конкурентоспроможність вторинних алюмінієвих сплавів може забезпечуватись не лише нижчою вартістю, але і використанням при їх виробництві технології рафінування.

Розроблено високоефективний екологічно безпечний рафінувально-модифікувальний флюс низької вартості. Комплекс не поступається за ефективністю розповсюдженим флюсам аналогічного призначення. При цьому він містить в своєму складі переважно компоненти, які не мають класу небезпеки або відносяться до 3-4 класу небезпеки, тобто є низькотоксичним та сприятливим в контексті охорони праці та навколишнього середовища.

## Список літератури

- 1 **Митяев, А.** Производство вторичного алюминия: технико-экономические и экологические аспекты / А. Митяев, С. Беликов // *Archives of Foundry*. – 2006. – Vol.6, № 20. – P. 85-89.
- 2 **Седых, В. И.** Пути сокращения выбросов фторидов в алюминиевом производстве / В. И. Седых, А.Н. Баранов, А. В. Никаноров, П. Р. Ершов // *Известия вузов. Цветная металлургия*. – 2005. – № 2. – С. 26-28.
- 3 **Лазаренков, А. М.** Рассеивание выбросов вредных веществ от источников литейных цехов в окружающей среде / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева // *Литье и металлургия*. – 2012. – № 3 (67). – С. 76-78.
- 4 **Алексахин, А. В.** Эффективность использования вторичных алюминиевых сплавов в литейном производстве / А.В. Алексахин, Н.В. Хмельницкая, Е.К. Сиваева // *Экономические проблемы литейного производства России : тез. докл. Всероссийской конф.* – Пенза, 1991. – С. 52-54.
- 5 **Samoshina, M. E.** Structure and properties of mechanically alloyed composite material from waste of high purity aluminium production / M. E. Samoshina, A. A. Aksenov, A. S. Prosviryakov [та інші] // *Powder Metallurgy*. – 2011. – Vol. 54, № 4. – P. 471-473.
- 6 **Куцова, В. З.** Структура и фазовый состав модифицированных заэветкических поршневых силуминов / В. З. Куцова, О. А. Носко // *Aims for Future of Engineering Science : Proceedings the Fifth International Scientific Forum. Paris, 2-8 May, 2004*. – Paris, France : Paris Tourist Office «David Lefrance», 2004. – P. 56-64.
- 7 **Okamura, H.** Friction stir welding of aluminium alloy and application to structure / H. Okamura, K. Aota, M. Erumi // *J. of Jap. Institute of Light Metals*. – 2000. – № 4 (50). – P. 166-172.
- 8 **Belikov, S.** The nanomodifier of aluminium alloys / S. Belikov, I. Volchok, A. Mityayev // *Aims for Future of Engineering Science: Proceedings the International Scientific Forum. Pavas, 4-10 July 2006*. – Davos Congress Centre, Switzerland, 2006. – P. 191-193.
- 9 **Беліков, С. Б.** Корозійна стійкість вторинних силумінів після лазерної обробки / **С. Б. Беліков, І. П. Волчок, Н. В. Широкобокова** // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2014. – № 10. – С. 264-267.
- 10 **Mityayev, A.** The role of intermetallic phases in fracture of aluminium alloys / A. Mityayev, S. Belikov, K. Loza // *Problems of modern techniques in engineering and education 2009*. – Cracow, 2009. – P. 59-66.
- 11 **Gorny, A.** Characterization of Major Intermetallic Phases in solidified Al-xSi-yFe-zSr (x=2 to 12,5 wt. %, y=0 to 0,5 wt. % and z=0 and 0,02 wt. %) alloys : (Open Access Dissertations and Theses. Paper 7445)

- [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://digitalcommons.mcmaster.ca/opensdissertations/7445/>.
- 12 **Сао, Х.** Morphology of  $\beta$ -Al<sub>3</sub>FeSi Phase in Al-Si Cast Alloys / X. Cao, J. Campbell // *Materials Transactions*. – 2006. – Vol. 47, № 5. – P. 1303-1312.
  - 13 **Гиржон, В. В.** Формирование структуры поверхностных слоев алюминиевых сплавов после импульсной лазерной обработки / В. В. Гиржон, И. В. Танцюра // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2005. – Т. 27, № 11. – С. 1519-1528.
  - 14 **Гиржон, В. В.** Формирование квазиэвтектической структуры в сплавах АК9 и АК12 после импульсной лазерной обработки / В. В. Гиржон, И. В. Танцюра // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2006. – Т. 28, № 9. – С. 1249-1259.
  - 15 **Volchok, I. P.** Increasing of Microhardness of Al-Si Alloys by Laser Treatment / I.P. Volchok, V.V. Girzhon, I.V. Tantsiura // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2011. – Т. 33, № 8. – С. 1111-1118.
  - О. А. Nosko // *Aims for Future of Engineering Science : Proceedings the Fifth International Scientific Forum. Paris, 2-8 May, 2004*. – Paris, France : Paris Tourist Office «David Lefrance», 2004. – P. 56-64.
  - 7 **Okamura, H.** Friction stir welding of aluminium alloy and application to structure / H. Okamura, K. Aota, M. Erumi // *J. of Jap. Institute of Light Metals*. – 2000. – № 4 (50). – P. 166-172.
  - 8 **Belikov, S.** The nanomodifier of aluminium alloys / S. Belikov, I. Volchok, A. Mityayev // *Aims for Future of Engineering Science: Proceedings the International Scientific Forum. Pavas, 4-10 July 2006*. – Davos Congress Centre, Switzerland, 2006. – P. 191-193.
  - 9 **Belikov, S. B.** Corrosion resistance of secondary silumins after laser treatment / **S. B. Belikov, I. P. Volchok, N. V. Shirokobokova** // *Fiziko-Khimicheskaya Mekhanika Materialov*. – 2014. – № 10. – P. 264-267.
  - 10 **Mityayev, A.** The role of intermetallic phases in fracture of aluminium alloys / A. Mityayev, S. Belikov, K. Loza // *Problems of modern techniques in engineering and education 2009*. – Cracow, 2009. – P. 59-66.
  - 11 **Gorny, A.** Characterization of Major Intermetallic Phases in solidified Al-xSi-yFe-zSr (x=2 to 12,5 wt. %, y=0 to 0,5 wt. % and z=0 and 0,02 wt. %) alloys : (Open Access Dissertations and Theses. Paper 7445). – Available at: <http://digitalcommons.mcmaster.ca/opensdissertations/7445/>.
  - 12 **Сао, Х.** Morphology of  $\beta$ -Al<sub>3</sub>FeSi Phase in Al-Si Cast Alloys / X. Cao, J. Campbell // *Materials Transactions*. – 2006. – Vol. 47, № 5. – P. 1303-1312.
  - 13 **Girzhon, V. V.** Forming of structure of surface layers after impulse laser treatment / V. V. Girzhon, I. V. Tantsiura // *Металлофизика и Новейшие Технологии*. – 2005. – Vol. 27, № 11. – P. 1519-1528.
  - 14 **Girzhon, V. V.** Forming of quasieutectic structure of the alloys after impulse laser treatment / V. V. Girzhon, I. V. Tantsiura // *Металлофизика и Новейшие Технологии*. – 2006. – Vol. 28, № 9. – P. 1249-1259.
  - 15 **Volchok, I. P.** Increasing of Microhardness of Al-Si Alloys by Laser Treatment / I.P. Volchok, V.V. Girzhon, I.V. Tantsiura // *Металлофизика и Новейшие Технологии*. – 2011. – Т. 33, № 8. – С. 1111-1118.

#### References

- 1 **Mityayev, A.** Production of secondary aluminum: technical, economical and ecological perspectives / A. Mityayev, S. Belikov // *Archives of Foundry*. – 2006. – Vol.6, № 20. – P. 85-89.
- 2 **Sedih, V. I.** Ways of decrease of fluoride wastes in aluminium production / V. I. Sedih, A.N. Baranov, A. V. Nikanorov, P. R. Ershov // *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*. – 2005. – № 2. – P. 26-28.
- 3 **Lazarenkov, A. M.** Dispersion of hazards from sources of foundry sections in the environment / A. M. Lazarenkov, S. A. Khoreva // *Litye i metallurgiya* – 2012. – № 3 (67). – P. 76-78.
- 4 **Aleksahin, A. V.** The effectiveness of use of secondary aluminium alloys in foundry industry / A.V. Aleksahin, N.V. Khmel'nitskaya, E.K. Sivaeva // *Ekonomicheskiye problemi lityenogo proizvodstva Rossii : thesis of rep. of All-Russian conf.* – Penza, 1991. – P. 52-54.
- 5 **Samoshina, M. E.** Structure and properties of mechanically alloyed composite material from waste of high purity aluminium production / M. E. Samoshina, A. A. Aksenov, A. S. Prosviryakov [and others] // *Powder Metallurgy*. – 2011. – Vol. 54, № 4. – P. 471-473.
- 6 **Kutsova, V. Z.** Structure and phase composition of hypereutectic piston silumins / V. Z. Kutsova,

Надійшла (received) 14.03.2015

УДК 621.785.53

## ШВИДКІСНИЙ МЕТОД НІТРОЦЕМЕНТАЦІЇ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

К. О. КОСТИК\*, В. О. КОСТИК, А. С. ДОЛЖЕНКО, С. В. НІКІФОРОВА

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, УКРАЇНА  
\*email: eklitus@yandex.ru

**АНОТАЦІЯ** Актуальним є випробування нового азото- та вуглецевмісного середовища для прискорення технологічного процесу ХТО. Метою науково-дослідної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів низькотемпературної нітроцементациї на структуру та властивості легованої сталі. Встановлено оптимальний режим зміцнення поверхневого шару нітроцементациєю, при якому поверхнева твердість становить 9,3 ГПа з загальною глибиною дифузійного шару 0,3 мм. Виявлено, що прискорення дифузії зростає майже в 5–10 разів залежно від температури ХТО при використанні запропонованого нами способу нітроцементациї.

**Ключові слова:** нітроцементация, сталь, глибина дифузійного шару, мікротвердість поверхневого шару

**АННОТАЦИЯ** Актуальным является применение новой азото- и углеродосодержащей среды для ускорения технологического процесса ХТО. Целью научно-исследовательской работы является исследование влияния технологических параметров низкотемпературной нитроцементации на структуру и свойства легированной стали. Установлен оптимальный режим упрочнения поверхностного слоя нитроцементацией, при котором поверхностная твердость составляет 9,3 ГПа с общей глубиной диффузионного слоя 0,3 мм. Выявлено, что ускорение диффузии возрастает почти в 5-10 раз в зависимости от температуры при использовании предложенного нами способа нитроцементации.

**Ключевые слова:** нитроцементация, сталь, глубина диффузионного слоя, микротвердость поверхностного слоя

## HIGH-SPEED METHOD OF CARBONITRIDING OF ALLOY STEEL

K. KOSTYK\*, V. KOSTYK, A. DOLZHENKO, S. NIKIFOROVA

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** There is an actual test of the new nitrogen and carbon environment to speed up the process. Traditional processes in salt baths and gas environment with the use of ammonia, natural gas, etc. create a definite type of layer ( $\epsilon$ -nitride). However, they are not able to satisfy the specific requirements for the structure of the layers depending on the conditions of detail and are quite harmful and long processes (50-100 hours). In addition to high temperature carbonitriding in recent years, increasingly began to use low-temperature nutrients when 540-610 the duration from 1 to 8 hours. The purpose of the research is study influence of technological parameters of the low-temperature carbonitriding on the structure and properties of alloy steel. When the temperature of the low-temperature carbonitriding changes from 500 °C to 650 °C during 5 hours in a powder mixture increases the depth of the diffusion layer from 0.14 to 0.43 mm, and the surface hardness decreases from 9.5 to 8.2 GPa. When exposure time increases from 2 to 5 hours at a temperature of 550 °C in the powder mixture, the depth of the diffusion layer increases from 0.137 to 0.24 mm. The optimal mode of hardening of the surface layer nutrients, in which the surface hardness is 9.3 GPa with a total depth of diffusion layer of 0.3 mm. Revealed that the acceleration of diffusion increases almost 5-10 times depending on the temperature when using our proposed carbonitriding method.

**Keywords:** carbonitriding, steel, the depth of the diffusion layer, the microhardness of the surface layer

### Вступ

Хіміко-термічна обробка (ХТО) сталі – сукупність операцій термічної обробки з насиченням поверхні виробу різними елементами (вуглець, азот, алюміній, кремній, хром та ін.) при високих температурах.

Хіміко-термічну обробку широко використовують для зміцнення деталей машин.

Це пояснюється тим, що більшість деталей працюють в умовах зношування, кавітації, циклічних навантажень, корозії при криогенних і високих температурах, при котрих максимальні напруження виникають в поверхневих шарах металу, де зосереджені основні концентратори напруги. Хіміко-термічна обробка, підвищуючи твердість,

зносостійкість, кавітаційну та корозійну стійкість і створюючи на поверхні сприятливі залишкові напруги стискування, збільшує надійність і довговічність деталей машин [1].

В останні роки широко використовують зміцнення деталей шляхом насичення їх поверхонь азотом та вуглецем при відносно низьких температурах (до 600 °С). Така обробка підвищує зносостійкість, втомну міцність і протизадирні властивості як легованої так і вуглецевої сталі, оскільки збільшує твердість поверхні і різко зменшує коефіцієнт тертя.

Низькотемпературна нітроцементация знаходить все більше застосування в індустріально-розвинених країнах витісняючи традиційні методи зміцнення – азотування та цементацию.

При низькотемпературній нітроцементации різко знижується час обробки деталей при їх дуже високій якості. При цьому процесі розміри деталей змінюються незначно, тому слід проводити остаточну термічну обробку а потім вже низькотемпературну нітроцементацию, що сприяє підвищенню продуктивності праці (виключаються тривалі та дорогі операції фінішної обробки зміцнених деталей абразивним інструментом).

Впровадження низькотемпературної нітроцементации в вітчизняну промисловість, при значно невеликих затратах, підвищити довговічність багатьох деталей, підвищити конкурентоспроможність машинобудівної продукції і ліквідувати відставання від зарубіжної практики, широко використовуючи низькотемпературну обробку. Цей процес може бути з успіхом використаний і в ремонті промисловості при відновленні і зміцненні деталей машин [2–3].

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

Нітроцементация широко застосовується не тільки для зміцнення різноманітних сталей і сплавів, деталей машин й інструментів, що працюють у різних умовах експлуатації, а і при необхідності підвищення корозійної стійкості металу. Дифузійний шар складається з нітридно-карбідної зони та зони внутрішнього

насичення. Саме нітридно-карбідна зона відповідає за підвищення корозійної стійкості. Це відбувається за рахунок виникнення у поверхневому шарі сталі корозійностійких нітридів і карбідів.

Традиційні процеси – у соляних ваннах й у газовому середовищі зі застосуванням аміаку, природного газу та ін. створюють цілком певний тип шару ( $\epsilon$ -нітриди). Однак вони не в змозі задовольнити конкретні вимоги, пропоновані до будови шарів залежно від умов роботи деталей і є досить шкідливими і тривалими процесами (до 50–100 годин).

### Мета роботи

Актуальним є випробування нового азото- та вуглецевмісного середовища для прискорення технологічного процесу ХТО.

Метою науково-дослідної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів низькотемпературної нітроцементации на структуру та властивості легованої сталі.

### Аналітичний огляд джерел інформації

Під нітроцементацией розуміють вид хіміко-термічної обробки, що складається з дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом. Цей процес застосовують для підвищення твердості, зносостійкості і межі витривалості поверхневого шару. Нітроцементации піддають деталі з конструкційних низьковуглецевих і середньовуглецевих сталей, а також деталі з нержавіючих сталей і інструмент, виготовлений з швидкорізальних сталей. Нітроцементация може виробляється в рідких, газових і твердих середовищах.

В якості рідких карбюраторів застосовують газ, легке індустріальне масло, піробензол; як газоподібних – природний газ і газ, який використовується для побутових потреб. Недоліком пастоподібних карбюраторів є необхідність використання додаткового вуглецевмісного середовища (газового або твердого), витісняючого повітря з пічного простору і перешкоджаючого вигорянню пасти на зміцнюючихся деталях. Цей недолік ускладнює технологію нітроцементации і підвищує її трудомісткість.

Для забезпечення високої і стабільної якості деталей з урахуванням капітальних витрат, а також кваліфікації працюючих, у вітчизняній практиці ХТО доцільно застосовувати газову цементацию і нітроцементацию з використанням ендотер-

мічної атмосфери. Використовувати рідкі карбюрізатори доцільно тільки в разі відсутності на заводах природного газу, а застосовувати тверду цементацию можна тільки в особливих випадках (відсутнє спеціальне термічне обладнання, одиничне виробництво, ремонтні роботи тощо). Нові методи (і нові атмосфери), вакуумна та іонна ХТО, вимагають високих капітальних витрат і кваліфікації працюючих [4–6].

Для підвищення насичуючої здатності складу і підвищення мікротвердості поверхневого шару деталей використовують ціанування в ваннах при нагріванні струмами високої частоти до 900–950 °С протягом 1–3 хвилини. Постачальниками вуглецю і азоту є меламін, мочевино-формальдегідні смоли, карбамід, полістирол з додаванням щавелевої кислоти та ціанетилендіаміну [7–9]. Але ціанування – дорогий і екологічно дуже шкідливий процес, оскільки солі, що використовуються, містять отруту – ціаністий калій або ціаністий натрій. Тому рідке ціанування сьогодні в промисловості практично не використовується.

На відміну від ціанування, нітроцементация не потребує використання шкідливих солей, значно дешевша, і тому такий спосіб поверхневого зміцнення виробів є найпоширенішим.

Процес здійснюється у суміші газів, що містять вуглець і аміак (80–90 %  $\text{CH}_4$  та 20–10 %  $\text{NH}_3$ ) при температурі 840–860 °С.

З підвищенням температури насичення вуглецем збільшується, а азотом – зменшується. При вказаній температурі поверхневий шар містить ~ 1 % С і 0,5 % N. Слід підкреслити, що незважаючи на нижчу температуру процесу, порівняно з цементацией, швидкість насичення залишається практично такою ж – 0,15 мм/год.

Твердість поверхні після нітроцементация дещо вища, ніж після цементация. Це дозволяє знизити необхідну товщину насиченого шару до 0,6–1 мм. Слід враховувати, що при глибині шару більше 1 мм знижується опір втомі.

Для зміцнення поверхні після нітроцементация деталі піддають гартуванню і низькому відпуску (160–180 °С). Після такої обробки нітроцементований шар має структуру дрібнокристалічного мартенситу і дисперсних карбонітридів [10–11].

Крім високотемпературної нітроцементация в останні роки все ширше стали використовувати низькотемпературну нітроцементацию при 540–610 °С тривалістю

від 1 до 8 годин. Постачальниками азоту і вуглецю виступають мочевино (карбамід), меламін, етаноламіни та ін. речовини в різних співвідношеннях.

### Методика експерименту

Матеріалом для дослідження в даній науково-дослідній роботі є легована сталь 30Г.

Для нітроцементация була застосована суміш, яка складається з азотовмісної речовини та активаторів.

Перед ХТО поверхню досліджуваних зразків очищали від слідів окалини, іржі, змащення й інших забруднень. Потім шліфували й полірували поверхню з наступним знежиренням 96 % спиртом.

Для сталі 30Г гартування робили при  $T = 850$  °С протягом 15 хвилин з охолодженням в воді. Відпуск проводили протягом 1,5 години при температурі 600 °С з охолодженням на спокійному повітрі.

Нітроцементацию зразків здійснювали в камерній печі при температурах 500, 550, 600 та 650 °С протягом 5 годин, а також варіювали витримку нітроцементация протягом 2, 3, 4, 5 годин при температурі 550 °С.

### Вплив температури на формування дифузійного шару сталі 30Г

Чим вище температура процесу, тим товщим виходить дифузійний шар. Однак для отримання високої твердості поверхні процес слід вести при температурах не вище 550 °С. При більш високих температурах спостерігається різке зниження твердості поверхневого шару. При температурах нижче 500 °С також не рекомендується вести процес, так як в цьому випадку сталь насичується азотом в недостатній мірі. З підвищенням температури нітроцементация швидкість дифузії азоту вглиб сильно зростає, знижуючи концентрацію азоту на поверхні. Твердість матеріалу стає нижче, що пояснюється утворенням більш великих нітрідних частинок. Глибина шару стає більшою.

Для сталі 30Г зі збільшенням температури від 500–650 °С глибина дифузійного шару збільшується від 140 до 430 мкм, а глибина нітрідного шару – від 25 до 90 мкм відповідно (рис. 1)

Зі збільшенням температури від 500 °С до 650 °С поверхнева твердість значно знижується (рис. 2).

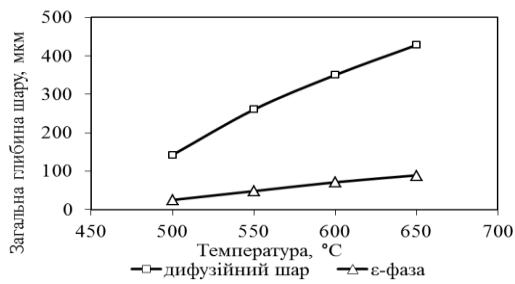


Рис. 1 – Загальна глибина дифузійного шару сталі 30Г залежно від температури нітроцементзації протягом 5 годин

Це пов'язано з активною дифузією азоту вглиб металу. Аналіз цих кривих показує, що твердість дифузійного шару залежить від вмісту вуглецю. Чим більший вміст вуглецю, тим вища твердість за рахунок формування додаткових нітрідів та карбідів.

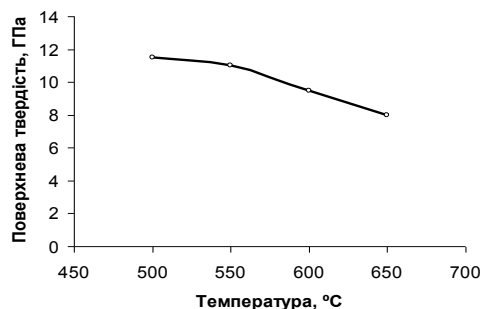


Рис. 2 – Поверхнева твердість сталі 30Г залежно від температури нітроцементзації протягом 5 годин

Теоретично слід враховувати вплив двох факторів на твердість гартованого нітроцементованого шару: адитивного впливу вуглецю та азоту на твердість мартенситу і дії залишкового аустеніту.

У дійсності, адитивну дію вуглецю та азоту на твердість мартенситу є другорядним. У поверхневих областях з високим вмістом вуглецю і азоту переважний вплив на твердість структури має високий вміст залишкового аустеніту.

В областях, віддалених від поверхні, вміст залишкового аустеніту відносно низький і незначно знижує твердість структури. Кількість азоту також невисока в цих областях і твердість мартенситу визначається в основному вмістом вуглецю.

Залишковий аустеніт є головним елементом, що впливає на розподіл твердості в гартованому нітроцементованому шарі. При цьому в нітроцементованому шарі не

досягається твердість вища, ніж у цементованому шарі. Навпаки, в поверхневих областях, багатих залишковим аустенітом, твердість нижче. Це явище є типовим для нітроцементованого шару: найбільша твердість знаходиться не на поверхні, а на певній відстані від поверхні.

На твердість нітроцементованого шару після відпуску певною мірою впливають ще інші елементи. Наскільки відомо, Ренгсторфф встановив, що азот в нітроцементованому шарі впливає на твердість при відпуску.

До цих пір ще не пояснена сутність впливу азоту на твердість відпущеного мартенситу. Можна вважати, що цей вплив пов'язано з більш повільним випаданням перехідною дисперсною формою карбонітрида ε.

Виробничі випробування на дуже навантажених нітроцементованих зубчастих колесах показують, що зниження твердості у поверхневих областях, багатих залишковим аустенітом, не є недоліком, якщо зниження твердості не надто велике. Можна допустити поверхневу твердість до HV 550-600, якщо м'які поверхневі зони розташовані над зонами з твердістю HV 685-700 (HRC 58-59).

Така поверхнева твердість досягається у різних сталях при різному вмісті вуглецю та азоту в нітроцементованому шарі.

Зниження твердості нелегованої сталі при вмісті в поверхневих зонах близько 0,6 % N і близько 1 % C невелике. Інакше йде справа з легованої сталлю, яка в нітроцементованому шарі містить значно велику кількість залишкового аустеніту.

Якщо ж нітроцементовані деталі, з якими проводять гартування з вторинним нагрівом, то при аустенізації на повітрі відбувається поверхневе знеуглення і деазотування. У зв'язку з цим при нітроцементзації з вторинним нагрівом можна допустити більше насичення в залежності від того, як знижується вміст вуглецю та азоту в поверхневих зонах.

Зазвичай вважається допустимим такий кінцевий вміст вуглецю та азоту, що призводить до отримання не більше 50-55 % залишкового аустеніту в поверхневих зонах. Це підтверджується залежністю твердості нітроцементованого шару від вмісту залишкового аустеніту.

Зміна мікротвердості дифузійних шарів сталі після низькотемпературної нітроцементзації протягом 5 годин при різних температурах наведена на рис. 3.

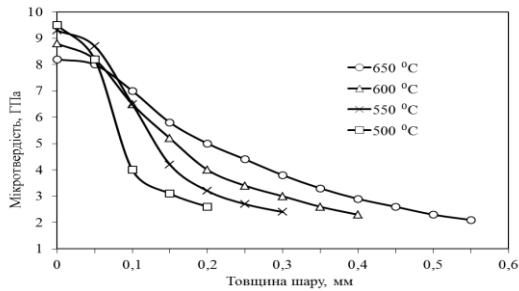


Рис. 3 – Зміна мікротвердості дифузійних шарів сталі 30Г після нітроцементзації протягом 5 годин при 500–650 °С

Для сталі 30Г найбільша твердість відповідає температурі 500 °С, але товщина загального дифузійного шару є недостатньою. При температурі 550 °С товщина шару значно збільшується, поверхнева твердість залишається великою. З підвищенням температури до 600–650 °С значно зростає шар при зниженні твердості. Враховуючи оптимальне співвідношення поверхневої твердості та товщини дифузійних шарів, вибираємо температуру низькотемпературної нітроцементзації 550 °С для сталі 30Г.

Максимальне зміцнення сталі 30Г (до 9,5 ГПа) досягається при низьких температурах (500 °С), коли в процесі насичення в  $\alpha$ -фазі спостерігається утворення окремих нітридів та карбонітридів. При підвищенні температури ХТО до 550 °С твердість поверхневого шару знижується до 9,3 ГПа. Насичення азотом та вуглецем при 600–650 °С, коли частки нітридів укрупнюються, призводить до помітного зниження твердості до 8,2 ГПа сталі 30Г (рис. 3).

Перепад твердості тим більше, чим нижче температура нітроцементзації. Чим вище температура нітроцементзації, тим більше глибина дифузійного шару і більш рівномірне падіння твердості по товщині шару (рис. 3).

**Дослідження зміни властивостей сталі 30Г після різної тривалості низькотемпературної нітроцементзації**

Загальна глибина дифузійних шарів залежно від тривалості нітроцементзації приведена на рис. 4. При збільшенні тривалості ХТО від 2 до 5 годин для сталі 30Г дифузійний шар складає від 137 до 240 мкм, а карбонітридний – від 12 до 48 мкм відповідно.

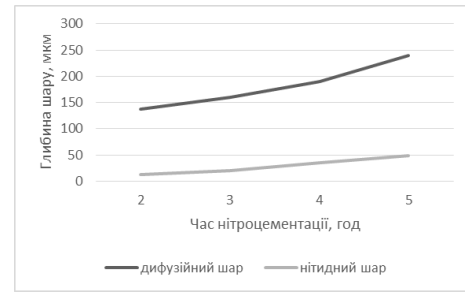


Рис. 4 – Загальна глибина дифузійного шару сталі 30Г залежно від тривалості процесу нітроцементзації при 550 °С

Зміна мікротвердості і глибини дифузійних шарів сталі 30Г після нітроцементзації при температурі 550 °С при різних тривалості процесу наведена на рис. 5. З якого видно, що мікротвердість залишається постійною, а змінюється тільки глибина нітроцементованого шару. Найбільшу поверхневу твердість мають всі зразки (2–4 години витримки), але товщина загального дифузійного шару є недостатньою. При тривалості процесу 5 годин товщина шару значно збільшується, поверхнева твердість залишається великою. Враховуючи оптимальне співвідношення поверхневої твердості та товщини дифузійних шарів, вибираємо тривалість низькотемпературної нітроцементзації 5 годин при 550 °С.

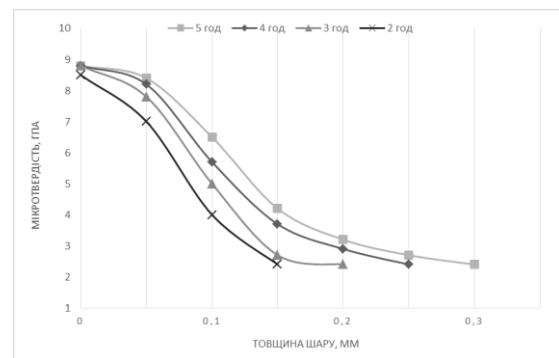


Рис. 5 – Зміна мікротвердості і глибини дифузійних шарів сталі 30Г після нітроцементзації при 550 °С і тривалості процесу 2–5 годин

Проаналізувавши зміну мікротвердості від поверхні до серцевини зразків, виявили що значення мікротвердості є однаковими незалежно від часу низькотемпературної нітроцементзації – 9,3 ГПа на поверхні та 2,4 ГПа – в серцевині після нітроцементзації (рис. 5).

### Коефіцієнт дифузії азоту

Відомо, що для проведення поверхневого дифузійного насичення виробу необхідно створити направлений дифузійний потік атомів насичуючого елементу з поверхні в глибину виробу.

Для визначення коефіцієнта дифузії атомарного азоту користуються другим рівнянням дифузії, що є диференціальним рівнянням другого порядку в частинних похідних і враховує зміну концентрації уздовж напрямку дифузії. Воно встановлює зв'язок між концентрацією, відстанню, на якому відбувається зміна концентрації елемента, що дифундує, і часом, протягом якого спостерігається дифузія, і має вигляд:

$$\frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

Це рівняння справедливо в тому випадку, якщо коефіцієнт дифузії  $D$  не залежить від концентрації. Для рішення наближених завдань по дослідженню дифузійних процесів при поверхневому насиченні застосовують друге рівняння Фіка, задаючи певними граничними умовами досвіду.

Математичне рівняння коефіцієнта дифузії азоту в загальному виді можна записати:

$$D_N = D_o \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (2)$$

де  $R$  – газова константа, Дж/моль·К,

$D_o$  – коефіцієнт дифузії при нескінченно великій температурі, см<sup>2</sup>/с,

$Q$  – енергія, яку необхідно затратити в процесі дифузії з одного положення рівноваги в кристалічній решітці в інше, кал/г·атом.

Товщина нітроцементованого шару визначається по формулі:

$$h = 2\sqrt{D_N \cdot \tau}, \text{ мкм} \quad (3)$$

З формули 3, знаючи експериментальні дані товщини шару і варіюючи тривалість нагріву, визначаємо коефіцієнт дифузії азоту:

$$D_N = \frac{h^2}{4 \cdot \tau} \quad (4)$$

Залежність експериментальних ефективних коефіцієнтів дифузії азоту для сталі 30Г при різній температурі низькотемпературної нітроцементации показана на рис. 6.

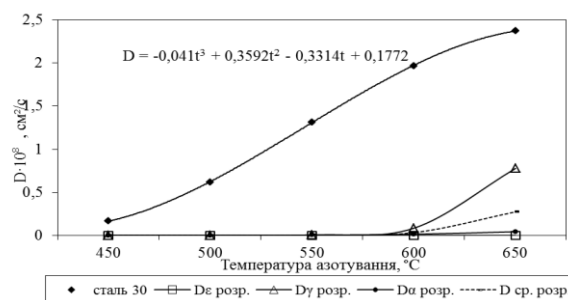


Рис. 6 – Залежність ефективного коефіцієнту дифузії азоту в сталі 30Г від температури низькотемпературної нітроцементации

Як і очікували, з підвищенням температури ефективний коефіцієнт дифузії зростає і змінюється по формулі поліному третього ступеня:

$$D = -0,041t^3 + 0,3592t^2 - 0,3314t + 0,1772$$

З рис. 6 видно, що низькотемпературна нітроцементация в запропонованій нами азотовмісній речовині дозволяє прискорити процес у 4–5 разів, що пояснюється збільшенням коефіцієнту дифузії в 5–10 разів залежно від температури ХТО в порівнянні з теоретичними значеннями  $D_N$  при газовому азотуванні. Це пояснюється двома явищами: по-перше, при використанні азотовмісної речовини значно підвищується кількість активних радикалів азоту, у порівнянні з азотуванням в аміаку – до 50 %; по-друге, дисперсний порошок, маючи дуже велику активну поверхню, практично відразу при досягненні заданої температури розкладається з виділенням активного атомарного азоту і вуглецю.

### Висновки

1. При підвищенні температури низькотемпературної нітроцементации від 500 °C до 650 °C протягом 5 годин в порошок суміші збільшується глибина дифузійного шару від 0,14 до 0,43 мм відповідно, а поверхнева твердість зменшується від 9,5 до 8,2 ГПа.

2. При збільшенні часу витримки ХТО від 2 до 5 годин при температурі 550 °C в порошок суміші глибина дифузійного шару збільшується від 0,137 до 0,24 мм.

3. Оптимальним режимом зміцнення поверхневого шару нітроцементацией вважаємо при температурі 550 °C протягом 5 годин в порошок суміші, після проведення якої поверхнева твердість становить 9,3 ГПа з загальною глибиною дифузійного шару ~ 0,3 мм.



4. Прискорення дифузії зростає майже в 5–10 разів залежно від температури ХТО при використанні запропонованого нами способу нітроцементації. З підвищенням температури ефективний коефіцієнт дифузії зростає і змінюється по формулі поліному третього ступеня.

#### Список литературы

1. **Чаттерджи-Фишер, Р.** Азотирование и карбонитрирование [Текст] / **Р. Чаттерджи-Фишер, Ф.-В. Эйзелл, Р. Гофман и др.**; пер. с нем. В. А. Федоровича; под ред. А. В. Супова. – М.: *Металлургия*, 1990. – 280 с.
2. **Тарасов, А. Н.** Высокотемпературная нитроцементация и низкотемпературное никотрирование стали 16Х-ВИ для повышения износостойкости [Текст] / **А. Н. Тарасов, А. Г. Нятин, П. Р. Шевченко** // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2007. – № 5. – С. 27–31.
3. **Петрова Л. Г.** Внутреннее азотирование жаропрочных сталей и сплавов [Текст] / **Л. Г. Петрова** // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2001. – № 1. – С. 10–17.
4. **Фунатани, К.** Низкотемпературное азотирование сталей в соляных ваннах [Текст] / **К. Фунатани** // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2004. – № 7. – С. 12–17.
5. **Айрапетян, Н. А.** Повышение износостойкости конструкционных сталей с помощью низкотемпературного насыщения углеродом и азотом [Текст] / **Н. А. Айрапетян** // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2005. – № 5. – С. 23–26.
6. **Fernandes, F. A. P.** Wear of plasma nitrided and nitrocarburized AISI 316L austenitic stainless steel [Текст] / **F. A. P. Fernandes, S. C. Heck, R. G. Pereira, A. Lombardi-Neto et al.** // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. – 2010. – Т. 40(2). – С. 175–179.
7. **Shu-Hung Yeh.** Effects of Gas Nitriding on the Mechanical and Corrosion Properties of SACM 645 Steel [Текст] / **Shu-Hung Yeh, Liu-Ho Chiu, Heng Chang** // *Engineering, Scientific Research Publishing*. – 2011. – Т. 9(3). – С. 942–948
8. **Ben Slima, S.** Ion and Gas Nitriding Applied to Steel Tool for Hot Work X38CrMoV5 Nitriding Type: Impact on the Wear Resistance [Текст] / **S. Ben Slima** // *Materials Sciences and Applications, Scientific Research Publishing*. – 2012. – Т. 9(3). – С. 640–644
9. **Baranowska, J.** Functional characteristics of nitride layers on austenitic steel produced by gas nitriding [Текст] / **Jolanta Baranowska** // *Material Science*. – *Lithuania*, 2005. – Т. 11(3). – С. 226–307.

10. **Fossati, A.** Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment time [Текст] / **A. Fossati, F. Borgioli, E. Galvanetto** [ etc. ] // *Surface and Coat. Technol.* – 2006. – Т. 200(11). – С. 3511–3517.
11. **Liu Junyou.** Nitridation of iron by the mixing technology with laser and plasma beams [Text] / **Liu Junyou, Sun Fenqjiu, Yu Hanjing** // *Appl. Surface Sci.* – 2005. 252. – № 4. – P. 921–928.

#### References

1. **Chatterdzhi-Fisher, R., Eyzell R., Gofman, F.-V.** Azotirovanie i karbonitirovanie. *Moscow: Metallurgy*, 1990, 280.
2. **Tarasov, A. N., Nyatin, A. G., Shevchenko, P. R.** Vysokotemperaturnaya nitrotsementatsiya i nizkotemperaturnoe nikotirovanie stali 16H-VI dlya povysheniya iznosostoykosti. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2007, **5**, 27–31.
3. **Petrova L. G.** Vnutrennee azotirovanie zharoprochnykh staley i splavov. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2001, **1**, 10–17.
4. **Funatani, K.** Nizkotemperaturnoe azotirovanie staley v solyanykh vannakh. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2004, **7**, 12–17.
5. **Ayrapetyan, N. A.** Povyishenie iznosostoykosti konstruktivnykh staley s pomoshchyu nizkotemperaturnogo насыщения углеродом i азотом. *Uprochnyayushchie tehnologii i pokryitiya*, 2005, **5**, 23–26.
6. **Fernandes, F. A. P., Heck, S. C., Pereira, R. G., A. () Lombardi-Neto,** Wear of plasma nitrided and nitrocarburized AISI 316L austenitic stainless steel. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2010, **40(2)**, 175–179.
7. **Shu-Hung Yeh, Liu-Ho Chiu, Heng Chang.** Effects of Gas Nitriding on the Mechanical and Corrosion Properties of SACM 645 Steel. *Engineering, Scientific Research Publishing*, 2011, **9(3)**, 942–948.
8. **Ben Slima, S.** Ion and Gas Nitriding Applied to Steel Tool for Hot Work X38CrMoV5 Nitriding Type: Impact on the Wear Resistance. *Materials Sciences and Applications, Scientific Research Publishing*, 2012, **9(3)**, 640–644.
9. **Baranowska, J.** Functional characteristics of nitride layers on austenitic steel produced by gas nitriding. *Material Science, Lithuania*, 2005, **11(3)**, 226–307.
10. **Fossati, A., Borgioli, F., Galvanetto, E.** Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment time. *Surface and Coat. Technol*, 2006, **200(11)**, 3511–3517.
11. **Liu Junyou, Sun Fenqjiu, Yu Hanjing.** Nitridation of iron by the mixing technology with laser and plasma beams. – *Appl. Surface Sci*, 2005, **4**, 921–928.

Надійшла (received) 25.02.2015

УДК 539.3/6:669.055(075.8)

## СПЛАВЫ С ЭФФЕКТОМ ПАМ'ЯТИ ФОРМЫ. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ, ФИЗИКА ПРОЦЕССА ИХ УНИКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ

**О. В. АКИМОВ\***, СУНДУС МОХАММЕД НУРИ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, УКРАЇНА  
\*email: litvo11@kpi.kharkov.ua

**АННОТАЦИЯ** Сплавы с эффектом памяти формы в данный час представляют великий интерес. Такие сплавы характерны тем, что у пластично деформованному стані відновлюють свою первинну форму безпосередньо зі зняттям навантаження або після нагрівання. Метою даної роботи є вивчення історії появи і розвитку сплавів з ефектом пам'яті форми і фізики процесу їх унікальних властивостей. Також в роботі розглянуті функціонально-механічні властивості матеріалів з термопружними мартенситними перетвореннями, характеристичні температури та фактори, що впливають на їх величину.

**Ключевые слова:** сплавы с эффектом памяти формы, мартенситное перетворення, сверхэластичность, псевдоупругость, характеристичные температуры

**АННОТАЦИЯ** Сплавы с эффектом памяти формы в настоящее время представляют большой интерес. Такие сплавы характерны тем, что в пластически деформированном состоянии восстанавливают свою первоначальную форму непосредственно со снятием нагрузки или после нагрева. Целью данной работы является изучение истории появления и развития сплавов с эффектом памяти формы и физики процесса их уникальных свойств. Также в работе рассмотрены функционально-механические свойства материалов с термоупругими мартенситными превращениями, характеристические температуры и факторы, влияющие на их величину.

**Ключевые слова:** сплавы с эффектом памяти формы, мартенситное превращение, сверхэластичность, псевдоупругость, характеристические температуры

## ALLOYS WITH SHAPE MEMORY EFFECT. THE HISTORY OF THE EMERGENCE AND DEVELOPMENT AND THE PHYSICS OF THEIR UNIQUE PROPERTIES

**О. АКИМОВ\***, СУНДУС МОХАММД НОРИ АХМЕД

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Alloys with shape memory effect in the present time are of great interest. Such alloys are characterized by the fact that in a plastically deformed state restore its original shape immediately with the removal of the load or after heating. The objective was to study the history of the emergence and development of alloys with shape memory effect. To consider the terms of the manifestations and mechanisms of shape memory effect, functional and mechanical properties of materials with thermoelastic martensitic transformations, characteristic temperature and the factors affecting their value. Today it is urgent to simplify the method of producing alloys with shape memory and to replace expensive components of the chemical composition of the alloy in preserving the unique performance properties at a high level. The greatest interest for modern Ukraine are materials with shape memory effect based on iron. This class of materials is the most cheap and easier to produce, as it doesn't contain expensive components and does not require special vacuum equipment for production.

**Keywords:** alloys with shape memory effect, martensitic transformation, sergelstorg, pseudopregnant, the characteristic temperature of

### Введение

В настоящее время большой интерес представляют сплавы с эффектом памяти формы, которые широко применяются в различных областях техники (спецмашиностроение, приборостроение, авиакосмическая

техника, бытовая техника и др.). При этом наибольшее распространение получили сплавы с памятью формы на основе Ti-Ni, применяемые преимущественно в области медицины, благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных свойств.

© О. В. АКИМОВ 1, СУНДУС МОХАММЕД НУРИ, 2015

Сплавы с эффектом памяти формы характерны тем, что в пластически деформированном состоянии восстанавливают свою первоначальную форму непосредственно со снятием нагрузки или после нагрева. Суть этого явления заключается в следующем. В исходном состоянии в материале существует определенная структура. Под влиянием деформации внешние слои материала вытягиваются, а внутренние сжимаются (средние остаются без изменений). Эти вытянутые структуры – мартенситные пластины. Необычным является то, что в материалах с памятью формы мартенсит термоупругий. После нагрева начинает проявляться термоупругость мартенситных пластин, то есть возникают внутренние напряжения, которые стремятся вернуть структуру к исходному состоянию, а именно сжать вытянутые пластины и растянуть сжатые. Поскольку внутренние вытянутые пластины сжимаются, а внутренние растягиваются, материал в целом проводит автодеформацию в обратном направлении и восстанавливает свою исходную структуру, а вместе с ней и форму.

Другим явлением, тесно связанным с эффектом памяти формы, является сверхупругость – свойство материала, который был нагружен до напряжения, значительно превышающего предел прочности, полностью восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки [1].

Несмотря на такие уникальные свойства материалов с эффектом памяти формы актуальным более детальное изучение таких сплавов и создание новых. Главным недостатком таких сплавов является высокая стоимость и сложность получения с использованием специального вакуумного оборудования. Поэтому на сегодняшний день является актуальным упростить способ получения сплавов с памятью формы и заменить дорогостоящие составляющие химического состава сплава на более доступные с сохранением уникальных эксплуатационных свойств на высоком уровне.

### Цель работы

Изучить историю появления и развития сплавов с эффектом памяти формы. Рассмотреть условия проявления и механизмы эффекта памяти формы, функционально-механические свойства материалов с термоупругими мартенситными превраще-

ниями, характеристические температуры и факторы, влияющие на их величину.

### История развития сплавов с эффектом памяти формы

В 1948 году академик Г.В. Курдюмов и доктор физико-математических наук Л.Г. Хандрос обнаружили обратимое термоупругое мартенситное превращение на сплавах Cu-Al-Ni и Cu-Sn, которое позднее было официально названо эффектом Курдюмова (эффект восстановления заданной конфигурации или эффект памяти формы). Они обнаружили, что кристаллы образующегося мартенсита при остановке охлаждения могут прекращать рост, а при последующем нагреве уменьшаются в размерах. При этом последовательность исчезновения кристаллов мартенсита при нагреве и обратном превращении мартенсита в высоко-температурную фазу (аустенит) повторяет последовательность их возникновения в обратном порядке [2, 3].

В мировой литературе первое упоминание о сплаве с необычными свойствами датируется 1930-ми годами. В это время Оландер (Ölander, 1932 г.) заметил, что превращение в сплаве Au-Cd было обратимо, основываясь на металлургические наблюдения и сопротивления изменениям [4, 5]. В 1938 г. Дженингер и Моорадиан (Greninger and Mooradian) наблюдали аналогичные изменения в латуни (Cu-Zn) в определенном пределе термических колебаний [6]. Позднее Чанг и Рид (Chang and Read, 1951 г.) ввели впервые термин «эффект памяти формы» для описания термоупругого поведения этих сплавов [7]. Однако только в начале 1960-х годов исследования материалов с эффектом памяти формы (или как их еще называют «умные материалы») начали набирать популярность. В 1962–1963 гг. Бюлер (Buehler) и др. обнаружили, что никель-титановые сплавы, называемые Нитинол (происходит от аббревиатуры NiTiNOL, где NOL – это сокращенное название Лаборатории морской артиллерии США, где этот материал был разработан), также обладают эффектом памяти формы [1, 5, 8]. В настоящее время именно этот сплав стал лидером среди материалов с памятью формы.

Нитинол или никелид титана – это интерметаллид эквиатомного состава с 49–57 % Ni, количество титана всегда должно оставаться в пределах 38–50 %, т.к. именно

этот предел обеспечивает эффект памяти формы таких сплавов. Часто сплавы Ni-Ti легируют медью. Температура плавления нитинола составляет 1240–1310 °С, плотность сплава – 6,45 г/см<sup>3</sup>. Исходная структура никелида титана – стабильная объемно-центрированная кубическая решетка типа CsCl при деформации испытывает термоупругое мартенситное превращение с образованием фазы низкой симметрии [1, 10].

Никелид титана обладает высокой коррозионной стойкостью и прочностью, хорошими характеристиками формо-запоминания, имеет высокий коэффициент восстановления формы и высокую восстановительную силу, деформация до 8 % может полностью восстанавливаться, напряжение восстановления при этом может достигать 800 МПа. Также нитинол обладает хорошей совместимостью с живыми организмами, имеет высокую демпфирующую способность материала (способность материала поглощать вибрацию (циклические нагрузки) за счет внутреннего трения, превращая механическую энергию в тепло).

Но у столь популярного сплава существуют и недостатки: 1. Наличие титана способствует легкому присоединению к сплаву азота и кислорода. Чтобы предотвратить реакции с этими элементами при производстве надо использовать вакуумное оборудование. 2. Затруднена обработка при изготовлении деталей, особенно резанием (оборотная сторона высокой прочности). 3. Высокая цена.

Производство никелида титана заключается в следующем: плавка происходит в вакуумно-гарнисажной печи или в электродуговой печи с использованием электродов в защитной атмосфере (гелий или аргон). Шихтой в обоих случаях служит йодидный титан или титановая губка, спрессованная в брикеты, и никель марки Н-0 или Н-1 [9].

Для получения равномерного химического состава по сечению и высоте слитка рекомендуется двойной или тройной переплав. При выплавке в дуговой печи рекомендуется сила тока 1,2 кА, напряжение 40 В, давление гелия 53 МПа. Оптимальный режим охлаждения слитков с целью предотвращения растрескивания – охлаждение с печью (не более 10 ° в секунду). Удаление поверхностных дефектов – обдирки наждачным кругом. Для более полного выравнивания химического состава по объему слитка

проводят гомогенизацию при температуре 950–1000 °С в инертной атмосфере [10-13].

Помимо нитинола, существуют и другие сплавы, обладающие эффектом памяти формы. Сплав Au-Cd разработан в 1951 году, является одним из пионеров материалов с памятью формы. Наравне с нитинолом, сплав Cu-Zn-Al имеет широкое практическое применение, этот сплав можно выплавлять в обычной атмосфере. Некоторые сплавы, обладающие эффектом памяти формы представлены в табл. 1 [14–19].

Таблица 1. Некоторые сплавы, проявляющие эффект памяти формы

Сплав	Состав	Диапазон превращения (°С)
Ag–Cd	44–49 % Cd	–190 ÷ –50
Au–Cd	46,5–50 % Cd	30 ÷ 100
Cu–Al–Ni	14–41,5 % Al; 3–4,5 % Ni	–140 ÷ 100
Cu–Au–Zn	23–28 % Au; 45–47 % Zn	–190 ÷ 40
Cu–Sn	15 % Sn	–120 ÷ 30
Cu–Zn	38,5–41,5 % Zn	–180 ÷ –10
Cu–Zn–Al	3–8 % Al 4–6 % Al; 22– 28 % Zn	0 ÷ 150 Комнатная температура
In–Ti	18–23 % Ti	60 ÷ 100
Ni–Al	36–38 % Al	–180 ÷ 100
Ni–Ti	49–51 % Ni	–50 ÷ 110
Fe–Pd	30 % Pd	–100
Fe–Pt	25 % Pt	–130
Mn–Cu	5–35 % Cu	–250 ÷ 180
Fe–Mn–Si	32 % Mn; 6 % Si	–200 ÷ 150

#### Условия проявления и механизмы эффекта памяти формы

Причиной эффекта памяти формы являются фазовые переходы с обратимым изменением размеров кристаллов новой фазы при изменении температуры или напряжения, а именно мартенситное термоупругое превращение [1, 10].

Мартенситное превращение – разновидность полиморфного фазового перехода с изменением типа кристаллической решетки. Инициировать мартенситное превращение, как и любое другое, можно двумя путями – это или изменение температуры или механическое напряжение.

Материал, испытывающий мартенситное превращение, может находиться в нескольких

состояниях: мартенситном, аустенитном и смешанном.

Мартенситные превращения разделяются на взрывные и термоупругие.

Взрывное превращение характеризуется тем, что при некоторой температуре (температуре начала превращения) скачком образуется достаточно большое количество кристаллов мартенсита, которые сразу достигают некоторых размеров и больше не растут. В случае дальнейшего охлаждения происходит образование уже новых мартенситных кристаллов.

При термоупругом мартенситном превращении изменение температуры влияет не только на появление кристаллов мартенсита, но и на их величину, т. е. при охлаждении появившиеся первыми кристаллы мартенсита растут за счёт соседних областей.

Мартенсит – это низкотемпературная фаза состояния сплава, аустенит – высокотемпературная фаза состояния сплава. В смешанном состоянии присутствуют и мартенсит, и аустенит. Мартенсит, как правило, имеет решетку с более низкой симметрией, чем аустенит.

Температуры, характеризующие переход из одной фазы в другую, называются характеристическими (ХТ) и обозначаются:

$M_n$ ,  $M_k$  – температуры начала и конца мартенситного превращения;

$A_n$ ,  $A_k$  – температуры начала и конца аустенитного перехода.

На рис. 1 представлен процесс фазового перехода из аустенита в мартенсит и обратно. Это может происходить многократно во время охлаждения из высокотемпературного состояния в низкотемпературное и последующем нагреве [1].

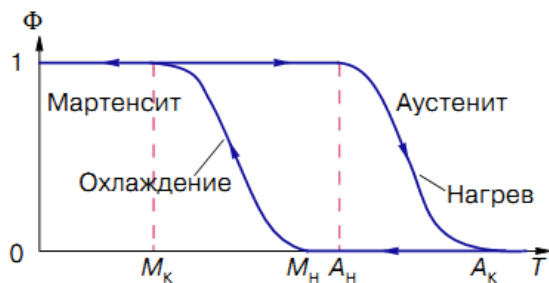


Рис. 1 – Схема температурной зависимости содержания мартенситной фазы при прямом и обратном мартенситных превращениях

При охлаждении сплава в интервале температур от  $A_k$  до  $M_n$  (рис. 1) процентное

содержание мартенситной фазы равно нулю, сплав находится в аустенитном состоянии. Первые кристаллы мартенсита зарождаются при температуре  $M_n$  – температуре начала прямого мартенситного перехода. Температуру  $M_k$ , при которой весь объем заполнен мартенситом, называют температурой конца прямого мартенситного превращения. При последующем нагревании металл находится в мартенситном состоянии вплоть до температуры  $A_n$  – начала обратного мартенситного перехода, а при достижении температуры  $A_k$  – конца обратного мартенситного перехода, процесс заканчивается и весь материал переходит в аустенитное состояние. Зарождение кристаллов происходит не одновременно: одни появляются раньше, другие позже. Экспериментально показано, что в присутствии напряжений интенсивнее растут те кристаллы, которые благоприятно ориентированы по отношению к приложенному напряжению. Для реальных обратных мартенситных переходов данная диаграмма не имеет ярко выраженных изломов в точках, как и показано на рис. 1, соответствующих  $M_n$ ,  $M_k$ ,  $A_n$ ,  $A_k$ .

#### Функционально-механические свойства материалов с термоупругими мартенситными превращениями

Материалам с термоупругими мартенситными превращениями характерен целый ряд уникальных, нетрадиционных физико-механических свойств, выделяющий их из класса обычных конструкционных металлов и сплавов. Совокупность явлений, которая связана с обратимыми мартенситными реакциями (мартенситная неупругость) обнаруживается, в основном, в интервале температур  $M_k \div A_k$ . Мартенситная неупругость представляет третий, после упругости и пластичности, основной вид деформационного поведения кристаллических материалов.

Закономерности проявления мартенситной неупругости обусловлены происходящими в материалах необычными структурными перестройками: термоупругим мартенситным превращением (структурным фазовым переходом I рода), упругим двойникованием (геометрически обратимым деформационным процессом), а также движением частичных и сверхструктурных дислокаций. Форма проявления такой неупругости в виде реакции материала на изменение температуры, внешнего или

внутреннего напряжения может быть конкретной: эффект памяти формы; обратимая память формы; циклическая память формы; эффект реверсивной памяти формы; пластичность прямого превращения; пластичность обратного превращения; псевдоупругость; деформация ориентированного превращения.

Эффект однократной памяти формы заключается в способности материала при изменении температуры (без нагрузки) возвращать приобретённые ранее (в мартенситном состоянии) неупругие деформации и восстанавливать первоначальную форму.

Кроме однократного эффекта восстановления формы, существует эффект обратимой памяти формы, который может быть неоднократно воспроизведён при термоциклировании. Материал, которому была задана значительная пластическая деформация, может самопроизвольно деформироваться при термоциклировании в интервале температур мартенситных переходов. Причиной этого эффекта является возникновение в материале во время предварительного деформирования (либо за счёт активного деформирования, либо за счёт эффекта пластичности превращения) больших внутренних полей напряжений, которые полностью не исчезают при нагревании. При многократном термоциклировании сплава под постоянным напряжением можно наблюдать обратимое циклическое формоизменение.

Эффектом пластичности превращения (сверхпластичности) называется способность материала накапливать деформацию, даже при весьма малых напряжениях, во время прохождения мартенситного превращения, которое сопровождается резким снижением сопротивления пластическому деформированию. Таким образом, в защемлённых и напряжённых изделиях напряжения уменьшаются, нередко до нуля, при охлаждении до  $M_c$ . Возвращаемая деформация может достигать от 20–30 % до 100 %.

Как известно, мартенситное превращение бывает прямым и обратным. Прямым мартенситным превращением принято считать накопление деформации при охлаждении, обратным – при нагреве.

Эффект реверсивной памяти формы заключается в том, что материалу сообщается остаточная деформация последовательно разными способами. Эти деформации могут быть разного знака и приблизительно равными

по модулю. В этом случае при нагревании наблюдается сначала восстановление одной деформации, а затем при дальнейшем нагреве восстановление другой деформации. Так как суммарная накопленная деформация равнялась нулю, то в процессе восстановления итоговая деформация также будет равна нулю.

Эффектом сверхэластичности называется явление восстановления первоначальной формы деформированного сплава, обусловленное изменением его фазового состояния вследствие снятия нагрузки, вызвавшей деформацию. Эффекты памяти формы и сверхэластичности имеют одну природу, однако не все сплавы с памятью формы проявляют сверхэластичные свойства. Причина отсутствия сверхэластичности в ряде сплавов связана с их особыми механическими свойствами.

Псевдоупругость (или сверхупругость) – способность материала при разгрузке в изотермических условиях восстанавливать значительные неупругие деформации от значений упругих деформаций в 1–2 % до 30 %. Наиболее существенное влияние на псевдоупругие свойства сплава оказывают ширина гистерезиса превращений и расположение температуры деформирования относительно характеристических температур. Помимо этого, величина псевдоупругой деформации и кинетика восстановления формы зависят от: температуры деформирования, состава сплава, вида напряжённого состояния, скорости деформирования, старения сплава и др.

Формовосстановление материала с эффектом памяти формы происходит столь интенсивно, что в ряде случаев возврат деформации не удаётся подавить даже напряжением, близким к пределу прочности [1]. Это означает, что материал с каналами мартенситной неупругости способен развивать высокие напряжения, реагируя на сопротивление свободному возврату деформации. Они получили название реактивных напряжений.

#### **Характеристические температуры и факторы, влияющие на их величину**

Температуры, характеризующие переход из одной фазы в другую, называются характеристическими температурами мартенситных превращений. Для обратимых мартенситных превращений характерна зависимость фазового состава от температуры,

представленная на рис. 1. Ширина гистерезиса кривых по температурной шкале, т. е.  $A_n - M_k$  или  $A_k - M_n$ , может быть различной для разных материалов и сильно влияет на их механические свойства вблизи температур фазового превращения. Гистерезис может быть как широким, так и узким. При анализе подобных диаграмм вводят обычно еще три характеристические температуры:  $T_0$ ,  $M_d$ ,  $A_d$ , где  $T_0$  – температура термодинамического равновесия;  $M_d$  – температура, ниже которой мартенсит может возникнуть не только вследствие понижения температуры, но и под действием механического напряжения; температура  $A_d$  характеризует возможность образования выше её аустенита не только вследствие нагрева, но и за счет механической нагрузки [5].

Оказывается весьма существенным, что для материалов с широким и узким гистерезисом взаимное расположение характеристических температур может оказаться неодинаковым. Характер влияния температуры на фазовый состав материала оказывается чрезвычайно важным в формировании упругопластических свойств кристаллов. Как показывает опыт, вся совокупность явлений, связанных с обратимыми мартенситными реакциями, обнаруживается при температурах, не очень сильно выходящих за интервал  $M_k - A_k$ . На характеристические температуры оказывают влияние различные факторы: химический состав, напряжения, деформации, отжиг.

В настоящее время установлено, что температуры мартенситных превращений изменяются с различной интенсивностью в зависимости от характера легирования, легирующего элемента и от того, является ли он элементом внедрения или элементом замещения. Одни добавки сильно смещают температуры превращений, другие – незначительно. Например, в системе TiNiX железо понижает температуры превращений сильнее, чем кобальт, но слабее, чем марганец, а медь и кремний в довольно широком интервале концентраций могут практически не изменять температуры фазовых переходов [1, 5]. Причём не только величина изменения, но даже и знак его могут оказаться различными для  $M_n$ ,  $M_k$ ,  $A_n$  и  $A_k$ . Поэтому, вариации в химическом составе сплава сказываются и на ширине гистерезиса. Так, медь, вводимая в TiNi в качестве заместителя никеля, при определенных концентрациях резко расширяет

гистерезис превращения, а железо, кобальт и германий почти не сказываются на нём.

Весьма сильные смещения температурных переходов наблюдаются при отклонении состава соединений от стехиометрического. У интерметаллида TiNi при изменении концентрации Ni от 50 до 52 ат. % температуры фазовых переходов снижаются почти на 300-400 К, а обогащение титаном на такую же величину практически не влияет на характеристические температуры. Исследовано влияние отклонения состава соединений TiAu, TiPd и TiPt от стехиометрического назначения характеристических температур. Для данных материалов наблюдается мартенситный переход с образованием структуры типа B19 (при 20°C). За счёт изменения химического состава даже путём весьма экономного легирования удаётся изменять характеристические температуры прямого и обратного мартенситных превращений и ширину гистерезиса в необходимом температурном диапазоне, что даёт возможность управления физико-механическими свойствами материалов в отмеченном интервале. Если учесть, что обращение к различным металлическим системам также является способом выбора нужных температур перехода, то можно сказать, что в настоящее время освоено весьма широкий диапазон температур: от 4,2 до ~ 1300 К.

Для различных материалов с эффектом памяти формы влияние напряжений на температуры мартенситных превращений неодинаково. В некоторых случаях оно так мало, что им можно пренебречь, например для медномарганцевых сплавов, испытывающих ГЦК ↔ ГЦТ антиферромагнитное упорядочение. В других влияние велико и различно для температур  $M_n$ ,  $A_k$  и  $M_k$ ,  $A_n$ , как у интерметаллида TiNi. Установлено качественно одинаковое воздействие напряжений на температуры  $M_n$  и  $A_k$  при любом виде деформирования: сжатии, растяжении, двухосном растяжении, кручении и т. п. Общая закономерность заключается в довольно резком повышении температур  $M_n$  и  $A_k$  и сравнительно слабом смещении  $M_k$  и  $A_n$  с разным знаком смещения температур в зависимости от схемы напряжённого состояния, объёмного эффекта превращения и свойств материала. Деформации также сказываются по-разному на изменении характеристических температур в зависимости от материала. В сплаве CuMn даже весьма значительные пластические деформации не

вливают на температуры фазовых переходов, а в TiNi они смещаются весьма существенно. При больших деформациях аустенитной фазы прямое мартенситное превращение затрудняется, так что соответствующие характеристические температуры понижаются. Наклёп мартенсита приводит, как правило, к повышению температур обратного перехода. В целом же на значения  $A_n$ ,  $A_k$  и  $M_n$ ,  $M_k$  влияет не только величина деформации, но и условия её задания – температура, скорость и способ деформирования. Так, активная деформация и деформация, полученная путём нагревания или охлаждения материала под напряжением в интервале мартенситного превращения, приводят к разным результатам. Однако имеется возможность восстановления характеристических температур, смещённых в результате деформации, путём отжига металла.

Структурно-чувствительными функциональными свойствами сплавов с эффектом памяти формы можно эффективно управлять с помощью термической и низко- и высоко-термомеханической обработок, которые позволяют регулировать структуру и фазовое состояние. С помощью таких обработок можно даже «исправлять» неточность химического состава плавки (изменение состава сплава на 0,1 % приводит к изменению температуры  $M_n$  на 10–20 °C) [1].

### Выводы

Изучена история появления и развития сплавов с эффектом памяти формы. Рассмотрены условия проявления и механизмы эффекта памяти формы, функционально-механические свойства материалов с термоупругими мартенситными превращениями, характеристические температуры и факторы, влияющие на их величину.

На сегодняшний день является актуальным упростить способ получения сплавов с памятью формы и заменить дорогостоящие составляющие химического состава сплава на более доступные с сохранением уникальных эксплуатационных свойств на высоком уровне. Наибольший интерес для современной Украины представляют материалы с эффектом памяти формы на основе железа. Этот класс материалов является наиболее дешевым и более простым в производстве, так как не содержит дорогостоящих составляющих и не требует специального вакуумного оборудования для производства.

### Список литературы

1. Сплавы с эффектом памяти формы / **К. Ооцука** [и др.]; под ред. Х. Фунакубо. – М. : Металлургия, 1990. – 224 с.
2. **Курдюмов, Г. В.** О природе бездиффузных мартенситных превращений / **Г. В. Курдюмов** // *ДАН СССР*. – 1948. – Т. 60. – № 9. – С. 1543–1546.
3. **Курдюмов, Г. В.** О термоупругом равновесии при мартенситных превращениях / **Г. В. Курдюмов, Л. Г. Хандрос** // *ДАН СССР*. – 1948. – Т. 60. – № 2. – С. 211–220.
4. **Otsuka, Ed. K.** Shape memory materials / **Ed. K. Otsuka, C. M. Wayman** // Cambridge University Press, 1999. – 284 p.
5. **Barbarino, S.** A review on shape memory alloys with applications to morphing aircraft / **S. Barbarino, E. I. Saavedra Flores, R. M. Ajaj, I. Dayyani, M. I. Friswell** // *Smart Mater. Struct.* – 2014. – № 23 (063001). – P. 1 – 19. doi:10.1088/0964-1726/23/6/063001
6. **Greninger, A. B.** Strain transformation in metastable beta copper–zinc and beta copper–tin alloys / **A. B. Greninger, V. G. Mooradian** // *Trans. AIME*. – 1938. – № 128. P. 68–337.
7. **Chang, L. C.** Plastic deformation and diffusionless phase changes in metals—the gold–cadmium beta phase / **L. C. Chang, T. A. Read** // *Trans. AIME*. – 1951. – № 189. P. 47–52.
8. **Buehler, W. J.** Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi / **W. J. Buehler, J. V. Gilfrich, R. C. Wiley** // *Appl. Phys.* – 1963. – № 34. – P. 1475
9. **Jani, J. M.** A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities / **J. M. Jani, M. Leary, A. Subic, M. A. Gibson** // *Materials & Design*. – 2014. – № 56. – P. 1078–1113. doi:10.1016/j.matdes.2013.11.084.
10. Shape Memory Alloy Shape Training Tutorial. (PDF). Retrieved on 2011-12-04: <http://www-personal.umich.edu/~btrease/share/SMA-Shape-Training-Tutorial.pdf>
11. **Huang, S.** Optimisation of Ni–Ti shape memory alloy response time by transient heat transfer analysis / **S. Huang, Martin Leary, Tamer Attalla, K. Probst, A. Subic** // *Materials & Design*. – 2012. – № 35. – P. 655–663. doi:10.1016/j.matdes.2011.09.043.
12. **Miyazaki, S.** Development and characterization of Ni-free Ti-base shape memory and superelastic alloys / **S. Miyazaki, H. Y. Kim, H. Hosoda** // *Mat Sci Eng a-Struct.* – 2006. – № 438. – P. 18–24. doi: 10.1016/j.msea.2006.02.054.
13. **Mereau, T. M.** Nitinol compression staples for bone fixation in foot surgery / **T. M. Mereau, T. C. Ford** // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2006. – № 96 (2). – P. 6–102. doi:10.7547/0960102. PMID 16546946.
14. **Bolcich, J. C.** Energy conversion using pseudoelastic CuZnAl alloys – a prototype heat



- engine / **J. C. Bolcich, R. Rapacioli** // *J. phys. (fr.) ICOMAT-82*. – 1982. – Vol. 43. – N 12. – P. 831-832.
15. **Honma, T.** Применение сплавов с эффектом запоминания формы и связанные с этим проблемы / **T. Honma** // *Chem. Ind. (Japan)*. – 1982. – Vol. 33. – N 4. – P. 339-346.
  16. **Eisenwasser, J. D.** Pseudoelasticity and the strain – memory effect in CuZnSn alloys / **J. D. Eisenwasser, L. L. Brown** // *Trans.* – 1972. – V.3. – N 6. – P. 1359-1383.
  17. **Hodgson D. E.** Shape memory alloys / **D. E. Hodgson, M. H. Wu, R. J. Biermann** // *ASM Handbook: ASM International*. – 1990. – P. 897–902
  18. **Hartl, D. J.** Aerospace applications of shape memory alloys / **D. J. Hartl, D. C. Lagoudas** // *P I Mech Eng G-J Aer*. – 2007. - № 221 (G4). – P. 535-552. doi: 10.1243/09544100jaero211.
  19. **Dilibal, S.** On the Volume Change in Co-Ni-Al during Pseudoelasticity / **S. Dilibal, H. Sehitoglu, R. Hamilton, H. J. Maier, Y. Chumlyakov** // *Materials Science and Engineering A*. – 2011. - № 528. – P. 2875–2881.
- References**
1. Alloys with shape memory effect. **K. Ootsuka** [and others]; edited by H. Funakubo. - Moscow : Metallurgy, 1990, 224.
  2. **Kurdyumov, G. C.** On the nature of bitdefender martensitic transformations. *DAN SSSR*, 1948, **60** (9), 1543-1546.
  3. **Kurdyumov, G. C., Andros, L.** Thermoelastic equilibrium when the martensite transformation. *DAN SSSR*, 1948, **60** (2), 211-220.
  4. **Otsuka, Ed. K., Wayman C. M.** Shape memory materials. *Cam-bridge University Press*, 1999, 284.
  5. **Barbarino, S., Saavedra Flores E. I., Ajaj R. M., Dayyani I., Friswell M. I.** A review on shape memory alloys with applications to morphing aircraft. *Smart Mater. Struct*, 2014, **23** (063001), 1–19. doi:10.1088/0964-1726/23/6/063001
  6. **Greninger, A. B., Mooradian V. G.** Strain transformation in metastable beta copper–zinc and beta copper–tin alloys. *Trans. AIME*, 1938, **128**, 68–337.
  7. **Chang, L. C., Read T. A.** Plastic deformation and diffusionless phase changes in metals—the gold–cadmium beta phase. *Trans. AIME*, 1951, **189**, 47–52.
  8. **Buehler, W. J., Gilfrich J. V., Wiley R. C.** Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Appl. Phys*, 1963, **34**, 1475.
  9. **Jani, J. M., Leary M., Subic A., Gibson M. A.** A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities. *Materials & Design*, 2014, **56**, 1078–1113. doi:10.1016/j.matdes.2013.11.084.
  10. Shape Memory Alloy Shape Training Tutorial. (PDF). Retrieved on 2011-12-04: <http://www-personal.umich.edu/~btrease/share/SMA-Shape-Training-Tutorial.pdf>
  11. **Huang, S. Martin Leary, Tamer Attalla, Probst K., Subic A.** Optimisation of Ni–Ti shape memory alloy response time by transient heat transfer analysis. *Materials & Design*, 2012, **35**, 655–663. doi:10.1016/j.matdes.2011.09.043.
  12. **Miyazaki, S. Kim H. Y., Hosoda H.** Development and characterization of Ni-free Ti-base shape memory and superelastic alloys. *Mat Sci Eng a-Struct*, 2006, **438**, 18-24. doi: 10.1016/j.msea.2006.02.054.
  13. **Mereau, T. M., Ford T. C.** Nitinol compression staples for bone fixation in foot surgery. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 2006, **96** (2), 6–102. doi:10.7547/0960102. PMID 16546946.
  14. **Bolcich, J. C., Rapacioli R.** Energy conversion using pseudoelastic CuZnAl alloys – a prototype heat engine. *J. phys. (fr.) ICOMAT-82*, 1982, **43** (12), 831-832.
  15. **Honma, T.** The use of alloys with shape memory effect and associated problems. *Chem. Ind. (Japan)*, 1982, **33** (4), 339-346.
  16. **Eisenwasser, J. D., Brown L. L.** Pseudoelasticity and the, strain – memory effect in CuZnSn alloys. *Trans*, 1972, **3** (6), 1359-1383.
  17. **Hodgson D. E., Wu M. H., Biermann R. J.** Shape memory alloys. *ASM Handbook: ASM International*, 1990, 897–902
  18. **Hartl, D. J., Lagoudas D. C.** Aerospace applications of shape memory alloys. *P I Mech Eng G-J Aer*, 2007, **221** (G4), 535-552. doi: 10.1243/09544100jaero211.
  19. **Dilibal, S., Sehitoglu H., Hamilton R., Maier H. J., Chumlyakov Y.** On the Volume Change in Co-Ni-Al during Pseudoelasticity. *Materials Science and Engineering A*, 2011, **528**, 2875–2881.

Надійшло (received) 17.02.2015

ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЧНИХ І НЕОРГАНІЧНИХ  
РЕЧОВИН ТА ЕКОЛОГІЯ

УДК 547.497.6:547.584

СИНТЕЗ НОВОГО ПОДАНДА, 1,8-БИС(9'-КАРБАЗОЛИЛ)-3,6-  
ДИОКСАОКТАНА

С.В. КРАВЧЕНКО\*

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепропетровск, УКРАИНА  
\* email: svtailor@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Запропоновано метод синтезу нового подандного каталізатора міжфазного переносу, що містить дві карбазолільні групи та є стійким до дії лугів – 1,8-Біс(9'-карбазоліл)-3,6-діоксаоктану. Поданд амінного типу був синтезований взаємодією 1,8-дібром-3,6-діоксаоктану з калієвою сіллю карбазолу. Доочищення продукту від залишків карбазолу відбувається при перекристалізації із бензену. Структура 1,8-біс(9'-карбазоліл)-3,6-діоксаоктану підтверджена за допомогою даних ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  – спектрів, а також мас-спектрів.

**Ключові слова:** поданди, каталізатори фазового переносу, 1,8-біс(9'-карбазоліл)-3,6-діоксаоктан, карбазол, синтез.

**АННОТАЦИЯ** Предложен метод синтеза нового подандного каталитатора фазового переноса, содержащего две карбазолильные группы, стойкий к действию щелочей – 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана. Поданд аминного типа синтезирован взаимодействием 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана с калиевой солью карбазола. Доочистка продукта от следов карбазола происходит при перекристаллизации из бензола. Структура 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана доказана с помощью данных ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ -спектров, а также масс-спектров.

**Ключевые слова:** поданды, каталитаторы фазового переноса, 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктан, карбазол, синтез.

THE SYNTHESIS OF NEW PODAND, 1,8-BIS(9'-CARBAZOLYL)-3,6-  
DIOXAOSTANE

S. KRAVCHENKO\*

Dnipropetrovsk State Agrarian-economic University, Dnipropetrovsk, UKRAINE

**ABSTRAKT** The main kind of phase transfer catalysts are crown-esters, cryptands, quarternary ammonia salts and podands. The podand kind of phase transfer catalysts is the most efficient for the organic chemistry technologies. The aim of this investigation is the syntheses of new podand which consists of two carbazole moiety and triethyleneglycol chain. The synthesis of 1,8-bis(9'-carbazolyl)-3,6-dioxaostane has been proposed. This containing two carbazolyl moiety podand is stable in the alkali media. The reaction of the synthesis is carried out in the 1,4-dioxane solution. Carbazole reacts with excess of potassium hydroxide in the boiling solvent in the presence of tetrabutyl ammonia bromide. Then the hot solution of potassium salt of carbazole is filtered off. Then the reaction of potassium salt of carbazole with 1,8-dibromo-3,6-dioxaostane is carried out in 1,4-dioxane solution. After that the reaction mixture is cooled. The obtaining potassium bromide is filtered off. The 1,4-dioxane reaction solution is evaporated at reduced pressure. The residue is washed by water and then it is dried at reduced pressure. Then the residue is extracted by boiling tetrachlorocarbon. The extract is evaporated at reduced pressure yielding the technical product. The crude product yield is 77 %. The solid residue was crystallized from benzene or ethanol yielding the pure product. The additional quantity of the product is obtained by the column chromatography of the filtrate residue. The overall yield of pure 1,8-bis(9'-carbazolyl)-3,6-dioxaostane is 54 %. The melting point of 1,8-bis(9'-carbazolyl)-3,6-dioxaostane is 128 – 129 °C. The product structure has been confirmed by data of NMR  $^1\text{H}$  spectra, NMR  $^{13}\text{C}$  spectra and mass-spectra.

**Keywords:** podands, phase transfer catalysts, 1,8-bis(9'-carbazolyl)-3,6-dioxaostane, carbazole, synthesis.

Введение

Данная статья является продолжением исследований, посвященных синтезу

перспективной разновидности каталитаторов міжфазного переносу – подандов амінного типу на основі триетиленглікольної матриці.

© С. В. КРАВЧЕНКО, 2015

Таким соединением является 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктан.

Данная статья посвящена исследованию возможности синтеза 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана **1** из доступных реактивов: карбазола и 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана.

### Цель работы

Целью данного исследования является создание удобного способа синтеза нового подандного катализатора фазового переноса, содержащего две карбазолильные группы и стойкого к действию щелочей – 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана **1**. Подобно бромидам 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-диоксаоктанов [1], данное соединение также может оказаться ингибитором коррозии металлов в водных растворах, а также является потенциальным люминофором.

### Изложение основного материала

Основными разновидностями катализаторов межфазного переноса являются четвертичные аммониевые соли, четвертичные фосфониевые соли, другие ониевые соли, а также алифатические полиэфиры, такие как краун-эфиры, криптанды и поданды [2-10]. Наиболее дешевыми в производстве и экономичными являются катализаторы фазового переноса подандного типа. Сравнительно недавно был описан случай применения полиэтиленгликоля ПЭГ-9 в синтезе триалкилортоформиатов [11-12]. Немного ранее были предложены удачные катализаторы фазового переноса смешанного типа, гибриды подандов и четвертичных аммониевых солей – бромиды 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-диоксаоктанов и родственные соединения [13-16].

Поданды, имеющие на концах олигоксаалкановой цепи третичные аминогруппы, показали себя довольно эффективными катализаторами фазового переноса, например в гетерофазном синтезе триалкилортоформиатов [17-18]. Недавно химиками НТУ ХПИ, Б. В. Успенским и В. В. Штамбургом, был получен потенциальный противораковый препарат, люминофор и поданд нового типа – 1,8-бис(нафталимидоокси)-3,6-диоксаоктан [19]. Однако данное соединение, являясь N-алкоксиимидом, должно подвергаться химическим превращениям в щелочных средах, что должно снижать его эффективность, как

катализатора фазового переноса в синтезе триалкилортоформиатов.

Данная статья посвящена исследованию возможности синтеза 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана **1** из таких доступных реактивов, как карбазол и 1,8-дибром-3,6-диоксаоктан.

### Обсуждение результатов

Нами найдено, что при взаимодействии карбазола с избытком гидроксида калия в среде кипящего диоксана образуется калиевая соль карбазола, растворимая в кипящем диоксане. Применение избытка КОН способствует ее образованию путем связывания образующейся воды в виде гидратной. 1,8-Дибром-3,6-диоксаоктан активно реагирует с калиевой солью карбазола в тех же условиях и, после двукратной обработки ею, образует 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктан **1** с выходом 76,9% (рис. 1).

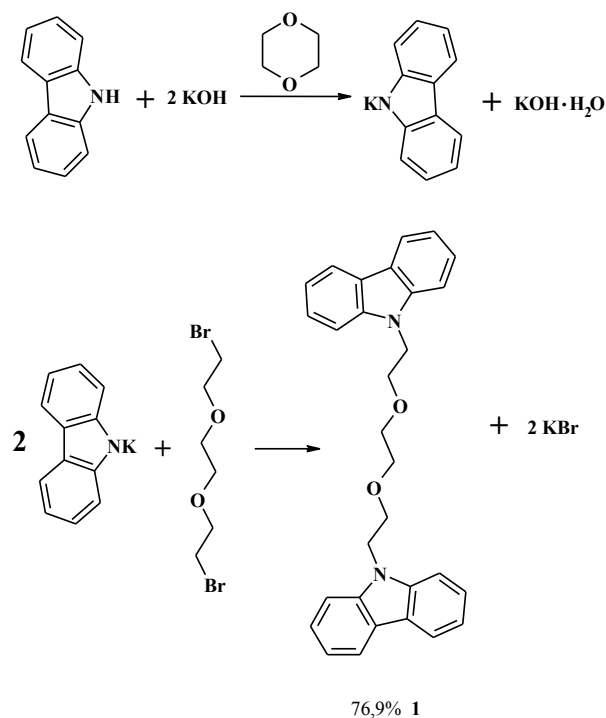


Рис. 1 – Схема синтеза 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана **1**

Последующая доочистка продукта от следов карбазола происходит при перекристаллизации его из сухого бензола. Возможно так же использование этанола для этой цели.

Строение соединения **1** подтверждается данными спектров ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , а так же масс-спектром. В спектре ЯМР  $^1\text{H}$  присутствуют

сигналы протонов групп  $\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$  и  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{O}$  в виде синглета и двух триплетов в области 3,267 - 4,349 м.д.

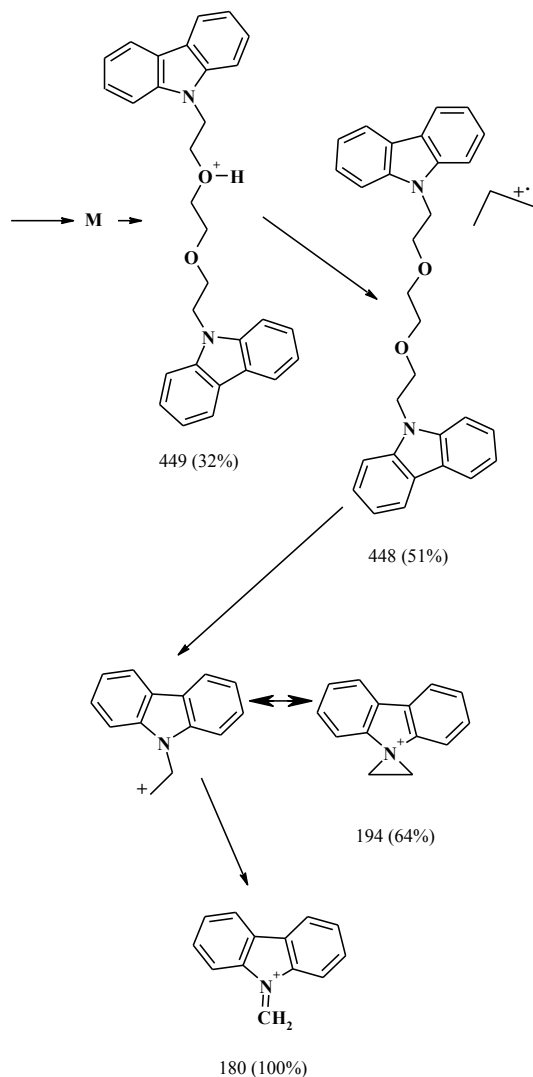


Рис. 2 – Схема масс-спектрометрической фрагментации 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана 1

Для гетероароматических протонов карбазолильных групп наблюдаются сигналы в виде двух триплетов и двух дублетов в области 7,176 - 8,126 м.д.

Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ , записанный в АРТ-режиме, полностью соответствует предполагаемой структуре. В области вторичных и четвертичных углеродных атомов наблюдаются сигналы  $\text{NCH}_2$ -группы и двух  $\text{OCH}_2$ -групп (42,41, 68,57 и 69,79 м.д.), а также двух четвертичных углеродов карбазолильных групп (121,90 и 140,05 м.д.). В области вторичных углеродных атомов наблюдаются четыре сигнала гетероароматических

карбазолильных атомов углерода (109,19, 118,41, 119,73 и 125,20 м.д.)

В масс-спектре, записанном в FAB-режиме (рис. 2), наблюдаются пики ионов  $[\text{M}+\text{H}]^+$  ( $m/z$  449) и  $\text{M}^+$  ( $m/z$  448). Далее происходит образование N-этиленкарбазолильного ( $m/z$  194) и N-метилкарбазолильного ( $m/z$  180) ионов.

Экспериментальная часть. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  регистрировали на спектрометре VARIAN VXR-300 (300 МГц,  $\text{Me}_4\text{Si}$  в качестве внутреннего стандарта; приведены значения  $\delta$ , м.д., КССВ (J), Гц.). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  регистрировали на спектрометре VARIAN VXR-300 (75 МГц,  $\text{Me}_4\text{Si}$  в качестве внутреннего стандарта, АРТ-режим). Масс-спектр регистрировали на масс-спектрометре VG 770-70EQ в FAB режиме. 1,4-Диоксан сушили кипячением и перегонкой над  $\text{KOH}$ . Бензол сушили кипячением и перегонкой над  $\text{Na}$ .

#### 1,8-Бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктан.

Раствор 3,344 г (20,00 ммоль) карбазола, 1,30 г (4,04 ммоль) тетрабутиламмонийбромида в 60 мл 1,4-диоксана и 4,50 г (80,36 ммоль)  $\text{KOH}$  кипятили при интенсивном перемешивании в течение 1 ч, затем отфильтровали горячим, осадок промыли 20 мл кипящего диоксана. К объединенному диоксановому фильтрату добавили раствор 2,760 г (10 ммоль) 1,8-дибром-3,6-диоксаоктана в 10 мл диоксана, реакционную смесь кипятили при перемешивании в течение 10 ч, затем охладили и отфильтровали осадок  $\text{KBr}$ , из фильтрата в вакууме (50 мм рт.ст.) отогнали 39 мл диоксана.

Раствор 3,344 г (20,00 ммоль) карбазола, 1,30 г (4,04 ммоль) тетрабутиламмонийбромида в 45 мл 1,4-диоксана и 1,20 г (21,43 ммоль)  $\text{KOH}$  кипятили при интенсивном перемешивании в течение 1 ч, затем добавили полученный реакционный раствор и кипятили при интенсивном перемешивании в течение 5 ч. Охладили реакционную смесь, отфильтровали выпавший осадок  $\text{KBr}$ , промыли его 20 мл диоксана. Из объединенного фильтрата отогнали 50 мл диоксана. Остаток упарили насухо при 60 °С и 13 мм. рт. ст., промыли 3 порциями воды по 15 мл, сушили в вакууме (2 мм рт. ст.). Остаток экстрагировали с фильтрованием 50 мл кип.  $\text{CCl}_4$ , фильтрат упаривали в вакууме (20 мм рт. ст.). Получено 3,450 г (76,9%) технического 1,8-бис(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана 1, бесцветные кристаллы, т.пл. 120 – 121 °С. После

перекристалізації из киплячого бензола отримано 1,779 г (39,7 %) чистого 1,8-бис(9'-карбазоліл)-3,6-діоксаоктана **1**, безцвітні кристалли, т.пл. 128 – 129 °С. Очищення кубов перекристалізації колоночною хроматографією (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, елюент – бензол) дозволило отримати додатково 0,644 г (14,3 %) 1,8-бис(9'-карбазоліл)-3,6-діоксаоктана **1**, безцвітні кристалли, т.пл. 127 – 128 °С.

Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (300 МГц, (CD<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO, σ, м.д.): 3,267 с, (4H, OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O), 3,569 т (4H, N<sub>Het</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O, <sup>3</sup>J = 5,1 Гц), 4,349 т (4H, N<sub>Ar</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O, <sup>3</sup>J = 5,1 Гц), 7,176 т (4H, C<sub>Het</sub>(3,3',6,6')H, <sup>3</sup>J = 7,35 Гц), 7,388 т (4H, C<sub>Het</sub>(2,2',7,7')H, <sup>3</sup>J = 7,65 Гц), 7,481 д (4H, C<sub>Het</sub>(1,1',8,8')H, <sup>3</sup>J = 8,40 Гц), 8,126 д (4H, C<sub>Het</sub>(4,4',5,5')H, <sup>3</sup>J = 8,40 Гц). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (75 МГц, CDCl<sub>3</sub>, АРТ-режим, м.д.): а) C<sub>втор.</sub>, C<sub>четв.</sub>: 42,409 (NCH<sub>2</sub>), 68,572 (N<sub>Het</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O), 69,788 (OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O), 121,900 C<sub>Het</sub>(4a,4a',5a,5a'), 140,054 C<sub>Het</sub>(1a,1a',8a,8a'); б) C<sub>перв.</sub>: 109,190 C<sub>Het</sub>(2,2',7,7'), 118,407 C<sub>Het</sub>(2,2',7,7'), 119,725 C<sub>Het</sub>(4,4',5,5'), 125,195 C<sub>Het</sub>(1,1',8,8'). Масс-спектр (FAB) m/z (I<sub>отн.</sub>(%)): 449 [M+H]<sup>+</sup> (32), 448 M<sup>+</sup>(51), 194 (64), 130 (100). Знайдено (%): N 6,18. C<sub>30</sub>H<sub>28</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Висчислено (%): N 6,25.

### Выводы

Предложено удобный способ синтеза 1,8-бис(9'-карбазоліл)-3,6-діоксаоктана, перспективного катализатора межфазного переноса подандного типа, потенциального люминофора и ингибитора коррозии.

### Список литературы

- 1 Шепеленко, О. С. Поданди як інгібітори корозії у водних розчинах / О. С. Шепеленко, В. Г. Штамбург, В. Б. Дістанов, Б. В. Успенський, В. В. Штамбург, К. А. Будьонна, С. А. Лещенко // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2011. – № 4. – С. 289-292.
- 2 Демлов, Э. Межфазный катализ / Э. Демлов, З. Демлов, Ред. Л. А. Яновская // Москва, «Мир», 1987. – 485 с.
- 3 Дзиомко, В. М. Макрогетероциклические лиганды. / В. М. Дзиомко // *Журнал Всесоюзного Химического общества имени Д.И. Менделеева*. – 1985. – №5. – С.482 – 487.
- 4 Маркович, И. С. Раскрытоцепные аналоги краун-эфиров и родственных макрогетероциклических соединений. / И. С. Маркович, В. М. Дзиомко // *Журнал Всесоюзного Химического общества имени Д.И. Менделеева*. – 1985. – №5. – С.562 – 570.

- 5 Pedersen, C. I. Cyclic polyethers and their complexes with metal salts / C. I. Pedersen // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1967. – 89, № 10. – P. 2495 – 2496.
- 6 Hiraoka, M. Crown Compounds, their characteristics and applications / M. Hiraoka // – Tokyo ets. : Kodansha: Elsevier, 1982. – 275 p.
- 7 Lehn, J. M. Design of organic complexing agents. Strategies toward properties / J. M. Lehn // *Structure and Bonding*. – 1973, 16. – P. 2 – 69.
- 8 Dietrich B., Hosseini M. W., Lehn J. M. Anion receptor molecules. Synthesis and anion binding properties of polyammonium macrocycles / B. Dietrich, M. W. Hosseini, J. M. Lehn // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1981. – 103, № 5. – P. 1282 – 1285.
- 9 Richman J. E., Atkins T. J. Nitrogen analogs of crown ethers / R. J. Eichman, T. J. Atkins // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1974. – 96, № 7. – P. 2268 – 2270.
- 10 Bousher B. R., Rest A. J. Use of alkali- and alkali-earth-metal ions in the template synthesis of 12-crown-4, 15-crown-5 and 18-crown-6 / B. R. Bousher, A. J. Rest // *J. Chem. Soc. Dalton. Trans.* – 1981. – № 5. – P. 1157 – 1161.
- 11 Штамбург, В. В. Гетерофазный синтез триалкилортоформиатов в присутствии полиэтиленгликоля-9 / В. В. Штамбург // *Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ»* – 2013 – №11 – с. 132 – 136.
- 12 Штамбург, В. В. Применение полиэтиленгликоля-9 в качестве катализатора фазового переноса в синтезе триалкилортоформиатов / В. В. Штамбург, Н. Г. Бережная // *XV Конференция молодых ученых и студентов-химиков южного региона Украины с международным участием*. Одесса, 17-19 апреля 2013. Тезисы докладов, С. 30.
- 13 Притыкин, Л. М. Получение триалкилортоформиатов из хлороформа и спиртов в условиях межфазного катализа. / Л. М. Притыкин, В. Г. Штамбург, А. А. Дмитренко, В. М. Гринев, О. Л. Скобелев // *Доповіді НАН України*. – 1995. – № 7. – С. 114 – 117.
- 14 Alvarez-Bailla, J. 1,5-Bis(N-benzyl-N,N-diethylammonium)diethylether dichloride (BBDE Cl). A novel bis-ammonium salt as phase transfer catalyst. / J. Alvarez-Bailla, J. J. Vaquero, J. L. G. Navio, J. F. Cabello, C. Sankes, M. Fau de Casa-Juane, F. Dorrego, L. Santos // *Tetrahedron*. – 1990. – V. 46, N 3. – P. 967 – 978.
- 15 Штамбург, В. В. Синтез дибромидов 1,8-бис(триалкиламмоний)-3,6-триоксаоктанов и родственных соединений. / В. В. Штамбург, С. А. Паненко, А. В. Мазепа, А. Е. Шишко, В. Б. Дістанов, В. Г. Штамбург // *Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ»*. – 2012. - № 18. – С. 88 – 90.
- 16 Штамбург, В. В. Новый катализатор межфазного переноса для синтеза триалкилортоформиатов. / В. В. Штамбург, В. Г. Штамбург, А. Е. Шишко // *Вісник*

Національного Технічного Університету «ХПІ». – 2012. – № 33. – С. 146 – 148.

- 17 **Штамбург, В. Г.** Синтез и использование  $\alpha,\omega$ -бис(N,N-диалкиламино)олигооксаалканов и их аналогов как катализаторов фазового переноса для получения триалкилортоформатов в гетерогенных системах. / **В. Г. Штамбург, О. Л. Скобелев, В. М. Гринев, А. А. Дмитренко, А. П. Плешкова, Л. М. Притыкин** // *Журнал органической химии* – 1995. – N. 1, № 3. – С. 660 – 664.
- 18 **Штамбург, В. Г.** Синтез триалкилортоформатов в гетерофазных системах. / **В. Г. Штамбург, В. В. Штамбург, В. В. Воскобойников, О. Л. Скобелев, Е. А. Клоц** // *Вопросы химии и химической технологии* – 2013. – № 6. – С. 21 – 27.
- 19 **Штамбург, В. В.** Синтез 1,8-бис(нафталимидоокси)-3,6-диоксаоктана. / **В. В. Штамбург, А. А. Анищенко, А. В. Мазепа** // *Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ»*. – 2011. – № 34. – С. 29 – 31.
- References**
- 1 **Shepelenko, O. S., Shtamburg, V. G., Distanov, V. B., Uspensky, B. V., Shtamburg, V. V., Budenna, K. A., Leshchenko, S. A.** Podands as inhibitors of corrosion in water solutions *Voprosy Khimii and Khimicheskoy Tekhnologii*, 2011, **4**, 289-292.
- 2 **Demlov, E., Demlov, Z., redaction Yanovskaya, L. A.** Inter phases catalyses Moscow: «Mir», 1987, 485 pages.
- 3 **Dziomko, B. M.** Macro heterocyclic ligands. *Journal Vsesouznoso Khimicheskogo Obschestva im. D.I. Mendeleeva*. 1985, **5**, 482 – 487.
- 4 **Markovich, I. C., Dziomko V. M.** Open-chain analogues of crown-esters and related macro heterocyclic compounds. *Journal Vsesouznoso Khimicheskogo Obschestva im. D.I. Mendeleeva*, 1985, **5**, 562 – 570.
- 5 **Pedersen, C. I.** Cyclic polyethers and their complexes with metal salts. *Amer. Chem. Soc.* – 1967. – 89, **10**, 2495 – 2496.
- 6 **Hiraoka, M.** Crown Compounds, their characteristics and applications. Tokyo etc.: Kodansha: Elsevier, 19892. – 275 p.
- 7 **Lehn, J. M.** Design of organic complexing agents. Strategies toward properties. Structure and Bonding. – 1973, **16**, 2 – 69.
- 8 **Dietrich, B., Hosseini, M. W., Lehn, J. M.** Anion receptor molecules. Synthesis and anion binding properties of polyammonium macrocycles. *J. Amer. Soc.*, 1981, 103, **5**, 1282 – 1285.
- 9 **Richman, J. E., Atkins, T. J.** Nitrogen analogs of crown ethers. *J. Amer. Soc.*, 1974, 96, **7**, 2268 – 2270.
- 10 **Bousher, B. R., Rest, A. J.** Use of alkali- and alkali-earth-metal ions in the template synthesis of 12-crown-4, 15-crown-5 and 18-crown-6. *J. Chem. Soc. Dalton. Trans*, 1981, **5**, 1157 – 1161.
- 11 **Shtamburg, V. V.** Interfaze synthesis of tryalkylorтоformates in the presence of polyethyleneglycole-9. *Visntnyk of National Technical University. «Kharkiv Polytechnical Institute»*, 2013, **11**, 132 – 136.
- 12 **Shtamburg, V. V., Berezhnaya, N. G.** *Using of polyethyleneglycole-9 as a phase transfer catalyst in the synthesis of tryalkylorтоformates*. XV Conference of young scientists and chemistry-students of South Region of Ukraine with the international presence. Odessa 17-19 of April 2013. Abstracts, 30.
- 13 **Pritykin, L. M., Shtamburg, V. G., Dmitrenko, A. A., Grinev, V. M., Skobelev, O. L.** The preparing of trialkylorтоformates from chloroform and alcohols at the conditions of phase transfer catalyses. *Docl. National Scientific Academy of Ukraine*, 1995, **7**, 114 – 117.
- 14 **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 (BBDECL). A novel bis-ammonium salt as phase transfer catalyst. *Tetrahedron*, 1990. V. 46, **3**, 967 – 978.
- 15 **Shtamburg, V. V., Panenko, S. A., Mazepa, A. V., Shishko, A. E., Distanov, V. B., Shtamburg, V. G.** The synthesis of 1,8-bis(trialkylamoni)-3,6-dioxaoctanes dibromides and related compounds. *Visntnyk of National Technical University. «Kharkiv Polytechnical Institute»*, 2012, **18**, 88 – 90.
- 16 **Shtamburg, V. V., Shtamburg, V. G., Shishko, A. E.** The new catalyst of phase transfer for the trialkyl orthoformate synthesis. *Visntnyk of National Technical University. «Kharkiv Polytechnical Institute»*, 2012, **33**, 146 – 148.
- 17 **Shtamburg, V. G., Skobelev, O. L., Grinev, V. M., Dmitrenko, A. A., Pleshkova, A. P., Pritykin, L. M.** The synthesis and application of  $\alpha,\omega$ -bis(N,N-dialkylamino)oligooxaalkanes and their analoges as phase transfer catalysts for the preparing of trialkyl orthoformates in hetero phase systems. *Journal Organicheskoy Khimii.*, 1995. N. 1, **3**, 660 – 664.
- 18 **Shtamburg, V. G., Shtamburg, V. V., Voskoboynikov, V. V., Skobelev, O. L., Klots, E. A.** The synthesis of trialkyl orthoformates in the hetero phase systems. *Voprosy khimii i khimicheskoy tehnologii*, 2013, **6**, 21 – 27.
- 19 **Shtamburg, V. V., Uspensky, B. V., Shtamburg, V. G., Anishchenko, A. A., Mazepa, A. V.** The synthesis of 1,8-bis(naphtalimidooxy)-3,6-dioxaoctane. *Visntnyk of National Technical University. «Kharkiv Polytechnical Institute»*, 2011, **34**, 29 – 31.

Надійшло (received) 17.02.2014

УДК 664.36

## РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ МАЙОНЕЗУ НА ОСНОВІ КУПАЖОВАНИХ ОЛІЙ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ

**Т.В. МАТВЄЄВА\***

Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України,  
Харків, УКРАЇНА

\* email: matveeva\_73@mail.com

**АННОТАЦІЯ** Функціональні продукти відіграють ключову роль у збереженні здоров'я людини. Купажовані олії, що збалансовані за жирнокислотним складом, та майонези на їх основі є прикладом продуктів функціонального призначення. Найважливішими чинниками біологічної цінності таких продуктів є кількість і співвідношення поліненасичених (ПНЖК) жирних кислот. Однак підвищення біологічної цінності олій або майонезів внаслідок збільшення ПНЖК, може супроводжуватися підвищенням швидкості їх окиснення. У статті наведено результати дослідження щодо розробки стійкого до окиснення майонезу на основі купажованої олії.

**Ключевые слова:** майонез, олії, купажі, поліненасичені жирні кислоти, мононенасичені жирні кислоти, окиснення.

**АННОТАЦИЯ** Функциональные продукты играют ключевую роль в сохранении здоровья человека. Сбалансированные по жирно-кислотному составу купажированные масла и майонезы на их основе – примеры продуктов функционального назначения. Важнейшими факторами биологической ценности таких продуктов являются количество и соотношение полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот. Однако повышение биологической ценности масел или майонезов вследствие увеличения ПНЖК, может сопровождаться повышением скорости их окисления. В статье приведены результаты исследования разработки устойчивого к окислению майонеза на основе купажированного масла.

**Ключевые слова:** майонез, масла, купажи, полиненасыщенные жирные кислоты, мононенасыщенные жирные кислоты, окисление.

## DEVELOPMENT OF MAYONNAISE FORMULATIONS FOR FUNCTIONAL NUTRITION BASED ON BLENDED OILS

**T. MATVEEVA \***

Ukrainian Research Institute of Oils and Fats National Academy Agricultural Sciences, Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** Human nutrition plays key role in maintenance of his health. One of the first plaices in human nutrition dedicated to functional nutrition, so called products of healthy nutrition. Such food have additional component that stipulates special physiological effect, which differs such products from another. Blended oils with balanced fatty acid composition on the base of domestic refined and deodorized oils are example of functional nutrition. Mayonnaises where fatty components presented by blended oils can be considered as functional nutrition too. Main factor of biological value of blended oils as well as fatty components of mayonnaises is quantity and ration between polyunsaturated (PUSFA) linoleic ( $\omega$ -6) and linolenic ( $\omega$ -3) fatty acids. According to the balanced daily diet formula needs of an adult person in oil is approximately 20 - 30 g that should contain 12 – 30 % of PUSFA. Found that among the possible methods of producing oils with a balanced composition as PUSFA  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 the most economical, compared with selection, genetic engineering, chemical or enzymatic interesterification can being oil blends .However, increase of biological value of oils and mayonnaises by increase of PUSFA quantity may be accompanied with raising in their oxidation ratio. The results of researches of development of mayonnaise that is stable against oxidation on the base of balanced blended oil presented in the article.

**Keywords:** mayonnaise, oils, blends of polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, oxidation.

### Вступ

Здорове харчування забезпечує нормальний розвиток людини, сприяє профілактиці захворювань, продовженню життя, підвищенню працездатності, а тому є одним з найважливіших факторів, що визначає

здоров'я населення. Основним завданням такого харчування є розробка основ і принципів створення функціональних продуктів харчування зі збалансованим складом із заданою харчовою і біологічною цінністю та збагачених незамінними

© Т. В. МАТВЄЄВА, 2015

речовинами. Інтерес до розробки нових функціональних продуктів неухильно зростає через комплексні дослідження, які підтверджують безпосередній вплив деяких компонентів харчування, таких як поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), антиоксидантів, вітамінів, мінералів, харчових волокон, на здоров'я людини [1, 2].

Емульсійні олієжирові продукти (майонези, соуси майонезні, маргарини, спреди) найважливішим компонентом яких є жиромішуючі нутрієнти, в харчуванні населення України та інших країн СНД стали активно використовувати нещодавно, але вони вже привернули до себе увагу, як продукти, що здатні надавати високих смакових властивостей їжі. Одним з основних пріоритетних напрямків у розвитку ринку даних продуктів було і залишається формування якості продукції, яка в подальшому визначає її (продукції) конкурентоспроможність. Якість продукту зумовлює не лише смак, запах, консистенція, але і харчова цінність продукту. Підвищення харчової цінності для емульсійних жирових продуктів може бути здійснено за рахунок методології комбінаторики складових рецептури, наприклад олій, зокрема заміни частини соняшникової олії, яку головним чином використовують в Україні при виробництві цих продуктів, на лляну, ріпакову та соєву, що особливо багаті на незамінні ПНЖК  $\omega$ -3 та  $\omega$ -6, або їх купажі [3, 4]. А тому дослідження, які направлені на розробку рецептур харчових емульсійних жирових продуктів функціонального призначення, що дозволять підвищити якість та конкурентоспроможність готової олієжирової продукції та оцінка їх властивостей, на сьогодні є актуальним.

### Мета роботи

Мета даної роботи – розробка нових рецептур харчових емульсійних жирових продуктів функціонального призначення не тільки для розширення асортименту вітчизняної олієжирової продукції, але і для забезпечення населення фізіологічно функціональними продуктами здорового харчування.

Для досягнення зазначеної мети роботи необхідно виконати наступні задачі:

- створити моделі жирових основ емульсійних продуктів функціонального призначення;
- розробити науково-обґрунтовані рецептури емульсійних продуктів функціонального

призначення;

- оцінити органолептичні, фізико-хімічні показники майонезу на основі купажованої олії;
- дослідити стабілізацію окисних процесів емульсійного продукту функціонального призначення.

### Сучасний стан проблеми

В умовах сучасної ринкової економіки актуальним є питання представлення на ринку вітчизняної конкурентоспроможної функціональної продукції, що поєднує в собі доступну ціну і високу якість. Будучи важливими постачальниками фізіологічно-функціональних інгредієнтів: ПНЖК, жиророзчинних вітамінів, фосфоліпідів та інших біологічно активних речовин, емульсійні продукти можуть стати одним з найважливіших сегментів ринку функціональних продуктів. Майонез є одним з найбільш популярних емульсійних продуктів. Споживачем майонезу є кожен другий житель України. Середньостатистичний українець в середньому за рік з'їдає близько 2 кг майонезу, кетчупу та інших соусів. Головним чином, українці віддають перевагу середньокалорійному майонезу (жирність 40 – 55 %). Його частка в споживанні майонезів за підсумками 2013 року склала 53 %. Сьогодні в літературі зустрічаються деякі рецептури функціональних олієжирових продуктів, зокрема салатних заправок на основі лляної олії, що багата на  $\omega$ -3 ПНЖК, але на прилавках супермаркетів таких продуктів споживач не бачить.

### Обговорення результатів

На підставі проведених досліджень з використанням лінійного програмування в пакеті програм *MatCad* [5 – 8] одержано низку трьохкомпонентних рецептур олій купажованих рафінованих, які збалансовані за жирнокислотним складом, та можуть бути використані для створення жирових основ харчових емульсійних продуктів – майонезів. Співвідношення  $\omega$ -6 групи (лінолева кислота) до  $\omega$ -3 групи (ліноленова кислота) ПНЖК в одержаних купажованих оліях складає від 5 : 1 до 10 : 1.

Рецептуру для одержання столового середньокалорійного майонезу представлено в табл. 1. В якості згущувача використано комплекс: ксантанова камедь – 0,50 %; яблучний пектин – 0,40 %; альгінат натрію – 0,10 %.



Таблиця 1 – Рецептатура середньо-калорійного майонезу

Найменування компонента	Вміст, % мас.
Олія купажована	46,00
Згущувач	1,00
Молоко сухе знежирене	1,60
Сиворотковий білковий концентрат	3,00
Гірчичний порошок	0,25
Цукор-пісок	1,50
Сіль поварена	1,10
Сода питна	0,05
Молочна кислота 80 %	0,55
Вода питна	44,95
Всього	100,0

Як жирову основу для цього майонезу обрано купажовану олію з вмістом олій: соняшникової – 15 %, ріпакової – 70 %, соєвої – 15 % ( $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 = 5 : 1). Для даної жирової основи майонезу розрахунковим методом (РМ), виходячи з вмісту жирних кислот (ЖК) у вихідних оліях та вмісту (% об.) олій в купажах, встановлений і підтверджений експериментально (ЕМ) на газорідному хроматографі «Shimadzu» GC-14B (Японія) жирнокислотний склад. Результати наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Жирнокислотний склад жирової основи майонезу П : Р : С = 15 : 70 : 15

ЖК	Кількість ЖК (%) при співвідношенні $\omega$ 6 : $\omega$ 3 = 5 : 1	
	РМ	ЕМ
C16:0	7,09	6,08
C18:0	2,93	2,58
C18:1	51,06	51,92
C18:2	31,79	32,12
C18:3	6,96	7,29
C20:0	0,05	
C20:1	0,051	
C22:0	0,10472	0,064

Фактичний жирнокислотний склад жирової основи, визначений хроматографічно, незначно відрізняється від розрахункового, який отримано з урахуванням об'ємної частки кожної олії і жирнокислотного складу вихідних олій та дійсно доводить, що співвідношення  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 дорівнює 5 : 1.

Органолептичні та фізико-хімічні показники майонезу на основі купажованої олії визначено згідно стандартних методик діючої нормативної документації та приведено в табл. 3 (у порівнянні з вимогами ДСТУ 4487:2005 Майонези. Загальні технічні умови).

Таблиця 3 – Порівняння органолептичних та фізико-хімічних показників майонезів

Найменування показника	Характеристика показника	
	Норма для середньо-калорійного майонезу згідно з ДСТУ 4487:2005	Середньо-калорійний майонез, що містить купажовану олію
1	2	3
Зовнішній вигляд	Однорідний сметаноподібний, густий продукт з одиничними пухирцями повітря.	Однорідний сметаноподібний, густий продукт з одиничними пухирцями повітря
Смак та запах	Притаманний майонезу конкретної назви.	Смак кисло-сватий, злегка гострий. Запах гірчиці та оцту.
Колір	Білий або кремувато-жовтий, однорідний по всій масі, з відтінками, що встановлені в технічних описах на конкретні найменування майонезі.	Кремувато-жовтий, однорідний по всій масі.
Масова частка жиру, %	40 – 55	46,0 ± 0,02
Масова частка вологи, %	Відповідно до технічного опису майонезу конкретної назви.	45,0 ± 0,02
Кислотність у перерахунку на оцтову кислоту, %	Відповідно до технічного опису майонезу конкретної назви.	0,35 ± 0,05
Стійкість емульсії, %	98	98,0 ± 0,5
pH	3,5 – 4,5	4,3 ± 0,2

За одержаними органолептичними та фізико-хімічними показниками (табл. 3)

майонез, що в якості жирової основи містить купажовану олію, відповідає діючим вимогам ДСТУ 4487:2005 Майонези. Загальні технічні умови.

При розробці нового виду продукту оцінюється не тільки жирнокислотний склад, фізико-хімічні й органолептичні властивості, співвідношення між ПНЖК, але і стабільність продукту до окиснення – одного з головних факторів, що визначає термін зберігання жирового продукту.

Дослідження стійкості до окиснювального псування середньокалорійного майонезу на основі купажованої олії (зразок 1) та майонезу, що одержано при тих же технологічних параметрах та за аналогічною рецептурою, але в якості жирової основи обрано рафіновану дезодоровану соняшникову олію (зразок 2), проведено за температури  $80 \pm 1^\circ\text{C}$  при вільному доступі повітря (автоокиснення). У деяких літературних джерелах [9, 10] зустрічається думка, що купажована олія, яка є жировою основою для середньокалорійного майонезу, більш схильна до окиснення, ніж соняшникова олія – найпоширеніша основа для майонезів. Тому для стабілізування від окиснення в середньокалорійний майонез (зразок 3) було введено натуральний комплекс антиоксидантів – «*Flavor Plus Clear*» компанії *NATUREX* (Франція) – екстракт розмарину натуральний дезодорований. Дозування антиоксиданту в продукті – 0,02 %. Комплекс додано до водної фази, з тим щоб він збирався на поверхні емульсії, де процеси окиснення протікають найбільш активно. Ступінь окиснення оцінено за величиною пероксидного числа. (рис. 1).

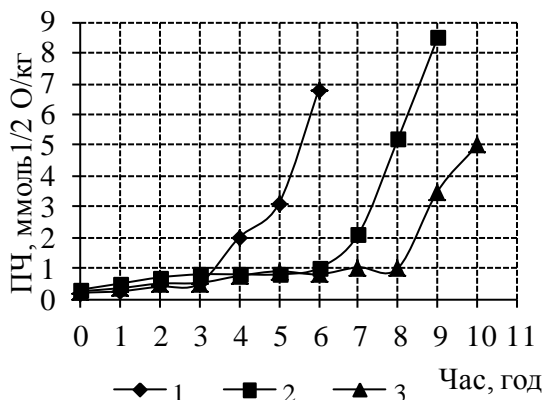


Рис. 1 – Зміна пероксидного числа зразків майонезів: 1 – майонез на основі купажованої олії; 2 – майонез на основі рафінованої дезодорованої соняшникової олії; 3 – майонез на основі купажованої олії, стабілізований екстрактом розмарину

За кривими рис.1 розраховані періоди індукції зразків майонезі, які надано в табл. 4.

Таблиця 4 – Періоди індукції зразків майонезів

Зразки майонезу	Період індукції, год.
Майонез на основі купажованої олії	$3 \pm 0,2$
Майонез на основі соняшникової олії	$6,5 \pm 0,2$
Майонез на основі купажованої олії, стабілізований екстрактом розмарину	$8,0 \pm 0,2$

Аналіз експериментальних даних (рис. 1 і табл. 4) свідчать про те, що період індукції майонезу на основі купажованої олії, що стабілізовано екстрактом розмарину, за температури  $80 \pm 1^\circ\text{C}$  при вільному доступі повітря на 23 % вищий у порівнянні з періодом індукції контрольного зразку (6,5 год) – майонезу на основі соняшникової олії.

### Висновки

В результаті проведених досліджень зроблені наступні висновки:

- обґрунтовано обрано купаж олій для жирової основи майонезу;
- встановлено розрахунковим і підтверджено експериментальним методом жирнокислотний склад жирової основи майонезу. Доведено, що він дійсно має харчову цінність;
- отримано композицію майонезу з використанням розрахованого купажу олій, як жирової основи;
- оцінено органолептичні, фізико-хімічні показники одержаного майонезу;
- досліджено стійкість майонезу на основі купажованої олії до окисного псування.

Випуск додаткової продукції – майонезів на основі купажованої олії – дозволить не тільки підвищити рентабельність переробки вітчизняних олій (соняшникової, ріпакової, соєвої та лляної), але і отримати низку функціональних продуктів здорового харчування та лікувально-профілактичних продуктів на основі олій з поліпшеним жирнокислотним складом і збагачених жиророзчинними вітамінами й таким чином позбавити Україну від імпорتنих поставок функціональних харчових продуктів.

Список літератури

References

- 1 **Simopoulos, A.P.** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids / **A. P. Simopoulos** // *Biomed Pharmacother.* – 2002. – Vol. 56. – P. 365 – 379.
  - 2 **NorAini, I.** Clarity of blends of double-fractionated palm olein with low-erucic acid rapeseed oil / **I. NorAini, H. Hanirah, N. Sudin, C. H. Flingoh, T. S. Tang** // *J. of the American Oil Chemists' Society.* – 1995. – Vol. 72. – P. 443 – 448.
  - 3 **Chugh, B.** Storage studies on mustard oil blends / **B. Chugh, K. Dhawan** // *J. of Food Science and Technology.* – 2014. – Vol. 51. – P. 762 – 767.
  - 4 **Huang, S. W.** Improving the oxidative stability of polyunsaturated vegetable oils by blending with high-oleic sunflower oil / **S. W. Huang, E. N. Frankel** // *J. of the American Oil Chemists' Society.* – 1994. – Vol. 71. – P. 255 – 259.
  - 5 **Матвєєва, Т. В.** Купажування олій з оптимізованим жирнокислотним складом / **Т. В. Матвєєва, З. П. Федякіна, І. Є. Шаповалова, І. П. Петік** // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2013. – №11. – С. 116 – 120.
  - 6 **Матвєєва, Т. В.** Математичне обґрунтування складання сумішей олій / **Т. В. Матвєєва, П. Ф. Петік, З. П. Федякіна** // *Східно-Європейський журнал передових технологій.* – Харків, 2013. – №3. – С. 26 – 28.
  - 7 **Матвєєва, Т. В.** Щодо купажування олій за жирнокислотним складом / **Т. В. Матвєєва** // *Матеріали за X міжнародна научна практична конференція «Ключові въпроси в съвременната наука 2014».* – Т. 33. – Софія, 2014. – С. 80 – 84.
  - 8 **Матвєєва, Т. В.** Купажі олій – джерело поліненасичених жирних кислот / **Т. В. Матвєєва, З. П. Федякіна** // *Наукові праці ОНАХТ МОН України.* – Одеса, 2014. – В. 46, Т. 1. – С. 210 – 213.
  - 9 **Murthi, T. N.** Storage stability of edible oils and their blends / **T. N. Murthi, M. Sharma, V. D. Devdhara, S. Chatterjee** // *J. Food Sci Technol.* – 1987. – Vol. 24. – P. 84 – 87.
  - 10 **Semwal, A. D.** Studies on the stability of some edible oils and their blends during storage /
- 1 **Simopoulos, A.P.** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids, *Biomed Pharmacother*, 2002, **56**, 365 – 379.
  - 2 **NorAini, I., Hanirah, H., Sudin N., Flingoh, C. H., Tang, T. S.** Clarity of blends of double-fractionated palm olein with low-erucic acid rapeseed oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1995, **72**, 443 – 448.
  - 3 **Chugh, B., Dhawan, K.** Storage studies on mustard oil blends. *J. of Food Science and Technology*, 2014, **51** (4), 762 – 767.
  - 4 **Huang, S. W., Frankel, E. N.** Improving the oxidative stability of polyunsaturated vegetable oils by blending with high-oleic sunflower oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1994, **71**, 255 – 259.
  - 5 **Matveeva, T. V., Fedyakina, Z. P., Shapovalova, I. E., Petik, I. P.** Blending oils with optimized fatty acid composition. *Vestnik NTU "KPI"*, 2013, **11**, 116 – 120.
  - 6 **Matveeva, T. V., Fedyakina, Z. P.** Kupazhi oliy - dzherelo polinenasichenih fatty acids. *Naukovi pratsi ONANT MOS of Ukraine*, 2014, **46**, 210 – 213.
  - 7 **Matveeva, T. V., Petik, P. F., Fedyakina, Z. P.** ically mathematical obruntuvannya skladannya sumishey oliy. *J. Shidnoevropeysky advanced tehnologiy*, 2013, **3**, 26 – 28.
  - 8 **Matveeva, T. V.** Schodo kupazhuvannya oliy for fatty acid storage. *Material for the X International scientific practical konferentsiya "Klyuchovi Ask a question in svremennata Science 2014"*, 2014, **33**, 80 – 84.
  - 9 **Murthi, T. N., Sharma, M., Devdhara, V. D., Chatterjee, S.** Storage stability of edible oils and their blends, *J. Food Sci Technol*, 1987, **24**, 84 – 87.
  - 10 **Semwal, A. D., Arya, S. S.** Studies on the stability of some edible oils and their blends during storage, *J Food Sci Technol*, 2001, **38**, 515 – 518.

Надійшла (received) 08.02.2015

УДК 664.8.038:635.63: 635.621.3

## ПРУЖНІСТЬ ТА ВТРАТИ МАСИ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ОГІРКІВ І КАБАЧКІВ

О. П. ПРИСС\*

Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна

\*email: olesyapriss@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Досліджено динаміку пружності та природний убуток маси під час зберігання огірків та кабачків за використання теплової обробки антиоксидантними препаратами. Встановлено, що, незважаючи на видові та сортові особливості, теплова обробка гарбузових овочів антиоксидантами вірогідно інгібує процес зниження пружності при зберіганні. Бактерицидно антиоксидантний комплекс на основі хлорофіліпту, іонолу та лецитину зменшує середньодобову втрату маси огірків в 4,4...4,7 рази та кабачків в 3,0...3,5 рази, залежно від гібриду.

**Ключові слова:** огірки, кабачки, зберігання, екзогенні антиоксиданти, природна втрата маси, пружність.

**АННОТАЦИЯ** Исследована динамика твердости и естественная убыль массы при хранении огурцов и кабачков с использованием тепловой обработки антиоксидантными препаратами. Установлено, что, несмотря на видовые и сортовые особенности, тепловая обработка тыквенных овощей антиоксидантами достоверно ингибирует процесс снижения твердости при хранении. Бактерицидно антиоксидантный комплекс на основе хлорофиллипта, ионола и лецитина уменьшает среднесуточную потерю массы огурцов в 4,4 ... 4,7 раза и кабачков в 3,0 ... 3,5 раза в зависимости от гибрида.

**Ключевые слова:** огурцы, кабачки, хранение, экзогенные антиоксиданты, естественная убыль массы, твердость.

## FIRMNESS AND WEIGHT LOSS IN STORED CUCUMBERS AND ZUCCHINI

O. PRISS\*

Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

**ABSTRACT** Cucumber and zucchini fruits show high metabolic activity and transpiration rates, and are highly susceptible to mechanical damage during harvest and postharvest. Heat treatments with antioxidants apply for prolonged shelf life of zucchini and cucumbers fruits.

In this study, the effect of heat treatment with antioxidants on firmness and weight loss of cucumber and zucchini were evaluated.

Two cultivars of cucumber Masha F1 and Athena F1 and two cultivars of zucchini squash fruit Kavili F1 and Tarmino F1 grown under field conditions during the 2008 - 2012 years were studied. Fruits in horticultural maturity stages were stored at 8 °C. Weight loss and firmness in cucumber and zucchini fruits were analyzed.

Difference in the firmness and dynamics of firmness of different varieties of cucumber at storage is not found. Varieties of zucchini differ significantly in firmness. Using heat treatment with complex antioxidant based on chlorophyllipt, ionol and lecithin for cucumber and zucchini significantly inhibited the process of firmness reducing at storage. After storage fruits with antioxidants heat treatment show firmness such as reference fruits for a week of storage. An average weight loss per day during treatment is reduced by 4,4...4,7 times compared with untreated cucumber fruits and by 3,0...3,5 times compared with untreated zucchini fruits.

**Keywords:** cucumbers, zucchini, storage, exogenous antioxidants, weight loss, firmness.

### Вступ

Плоди та овочі у післязбиральний період проявляють високу метаболічну активність пов'язану з протіканням процесів дозрівання і старіння. Технології зберігання направлені на контроль і управління цими процесами задля максимального збереження якості продукції. Для доповнення основних післязбиральних заходів, таких як керування температурою,

розроблено багато інших, у т. ч. різні фізичні (тепло, опромінення, їстівні покриття), хімічні (антибактеріальні препарати, антиоксиданти та інгібітори потемніння) і газові обробки [1].

Такі гарбузові культури як огірки та кабачки збирають на ранній стадії фізіологічного розвитку, коли вони характеризуються надзвичайно ніжною шкіркою, яка практично не витримує

© О.П. ПРИСС, 2015

механічних пошкоджень. Така особливість є вагомою перешкодою у збереженні якості плодів протягом тривалого часу. Зберігання огірків та кабачків можливе лише протягом 8...15 діб. Застосуванням теплових обробок екзогенними антиоксидантними препаратами можна практично вдвоє збільшити тривалість зберігання та підвищити товарну якість гарбузових овочів [2]. За вимогами стандартів, у партіях огірків чи кабачків допускається до 10 % плодів з легкими потертостями, з незначними потемніннями шкірки від натисків, з подряпинами і злегка зав'ялих. Однак, після зберігання практичними критеріями оцінки якості більшості овочів є відсутність дефектів кольору та пружність (твердість) [3]. Втрати пружності і ознаки в'янення пов'язані зі змінами в стані тканинної вологи, поріг втрати якої для кабачків становить 6, а для огірків 7% [4, 5]. Тож виявлення динаміки пружності та втрати маси при зберіганні гарбузових овочів з тепловою обробкою антиоксидантами є актуальним.

#### Мега роботи

Мега досліджень полягала у виявленні впливу теплової обробки антиоксидантами на динаміку пружності та природну втрату маси під час зберігання огірків та кабачків.

#### Дослідження пружності та природного убутку маси

Дослідження проводили в 2008-2012 роках. Вивчали плоди огірків Маша F1 і Афіна F1, плоди кабачків Кавілі F1 та Таміно F1, вирощені в умовах відкритого ґрунту. Для зберігання відбирали плоди огірків без вирваної плодоніжки, неушкоджені, довжиною 11...14 см та зеленці кабачків довжиною 16...21 см з плодоніжкою 3 см. Плоди занурювали у розчини антиоксидантних композицій з температурою 42 °С на 10 хв. Склад композицій характеризується наявністю компонентів бактерицидної та антиоксидантної дії: хлорофіліпт (Хл), іонол (І) та лецитин (Л) [6]. Після висихання плоди вкладали в ящики, вистелені поліетиленовою плівкою і зберігали при  $8 \pm 0,5$  °С і відносній вологості  $95 \pm 1\%$ . Контролем слугували необроблені плоди.

Природні втрати маси оцінювали зважуванням та обчислювали у відсотках до початкової маси. Пружність (твердість) плодів під час зберігання оцінювали за допомогою пенетрометра (тестера щільності) GY-3, що вимірює зусилля, необхідне для проникнення в плід. Використовували циліндричний сталевий

зонд діаметром 8 мм. Проколи плодів здійснювали у трьох рівновіддалених точках по довжині (на відстані  $\frac{1}{4}$  плоду). Щільність м'якоті вимірювали у центрі діаметру плоду в трьох повтореннях. Глибина проникнення зонду 10 мм. За результат приймали середнє арифметичне вимірювань 5 плодів.

Гібриди огірків Маша та Афіна вірогідно не різняться за пружністю. Динаміка та швидкість зниження твердості в обох гібридах аналогічна. Під час зберігання, пружність плодів поступово знижується в контрольних та дослідних варіантах огірків (рис. 1).

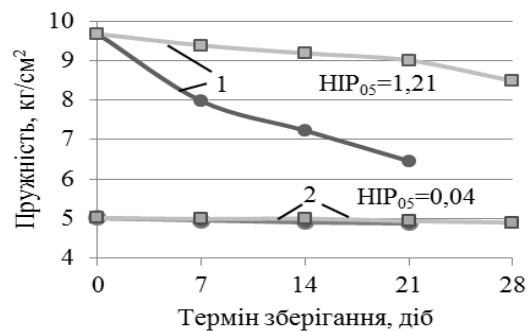


Рис. 1 – Пружність огірків, середнє по двом гібридам за 2011, 2012 р.: 1 – пружність цілого плоду; 2 – пружність м'якоті по центру плоду; ● – контроль; ■ – теплова обробка Хл+І+Л

Кабачки досліджуваних гібридів вірогідно різняться за твердістю шкірки та м'якоті. Білоплідні Кавілі мають доволі щільнішу шкірку (опір прокалюванню 11,4 кг/см<sup>2</sup>, проти 9,9 у Таміно), однак менш пружну м'якоть (4,1 проти 6,7 у Таміно) (рис. 2, 3).

Динаміка зниження твердості плодах різних гібридів має деякі відмінності. Зниження твердості шкірки у Кавілі відбувається практично вдвічі швидше, ніж у Таміно. І навпаки, пружність м'якоті у Кавілі знижується на 28 %, а в Таміно на 40 % за час спостереження.

На твердість (пружність) плодів суттєво впливає природна втрата маси. За роки досліджень, середньодобовий природний убуток маси плодів огірка у контролі сягає 0,42...0,44%, залежно від гібриду (рис. 4).

Простежена динаміка природних втрат маси свідчить, що на першому тижні зберігання втрати маси лише дещо вищі в усіх варіантах, хоча статистично значення однакові. Далі у дослідних огірках втрати відбуваються практично рівномірно аж до кінця зберігання (рис. 5).

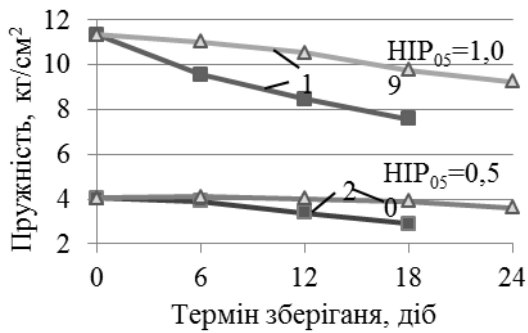


Рис. 2 – Динаміка пружності кабачків Кавілі, середнє 2011, 2012 р.: 1– пружність плоду, 2 – пружність м'якоти; ■ – контроль; ▲ – теплова обробка Хл+І+Л

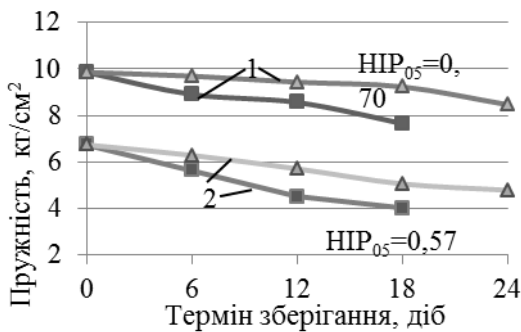


Рис. 3 – Динаміка пружності кабачків Таміно, середнє 2011, 2012 р.: 1– пружність плоду, 2 – пружність м'якоти; ■ – контроль; ▲ – теплова обробка Хл+І+Л.

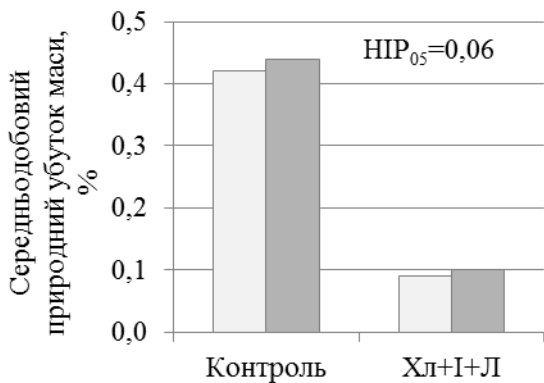


Рис. 4 – Середньодобовий природний убуток маси огірків, середнє за 2008-2012 р.: □ – Маша; ■ – Афіна.

На відміну від огірків, де сортова специфіка не виражена, природні втрати маси під час зберігання кабачків гібриду Таміно достовірно вищі ніж у Кавілі: у середньому за роки досліджень 3,55 та 2,54 % відповідно.

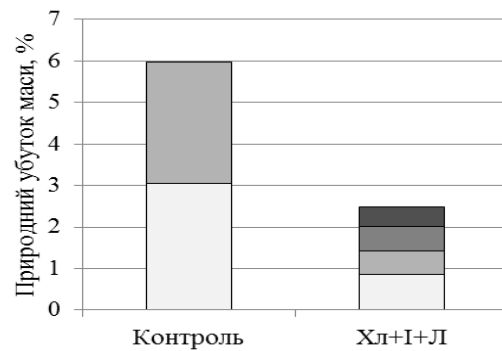


Рис. 5 – Динаміка природного убутку маси під час зберігання огірків, середнє по гібридам за 2008-2012 р.: □ – 0..7 діб, ■ – 7..14 діб, ■ – 14..21 діб, ■ – 21..28 діб.

Середньодобовий природний убуток маси плодів кабачка значно менше, ніж в огірках. Залежно від гібриду, в контрольному варіанті середньодобові втрати маси становлять 0,21...0,30 % (рис. 6).

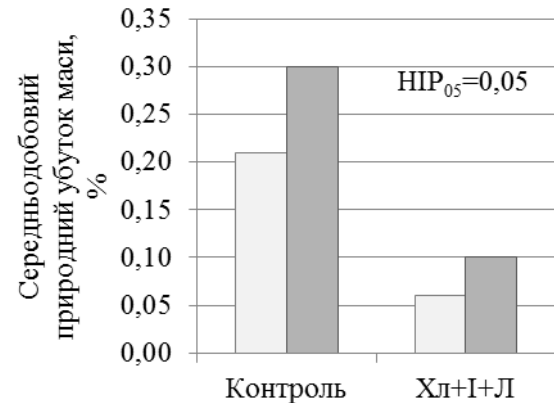


Рис. 6. – Середньодобові втрати маси під час зберігання кабачків: □ – Кавілі; ■ – Таміно.

Динаміка втрат маси під час зберігання кабачків дещо відрізняється від огірків. За перші 6 діб зберігання втрати маси вірогідно найбільші в усіх варіантах (рис. 7).

### Обговорення результатів

Як видно з рис. 1, при зберіганні огірків, твердість м'якоти залишається практично незмінною і в контрольних, і в дослідних варіантах. Таке явище логічно пояснити паралельним протіканням процесів ферментативного розпаду тканин та лігніфікацією оболонки насінин при старінні.

За теплової обробки комплексним антиоксидантом, відбувається вірогідне гальмування зниження твердості огірків (див. рис. 1).

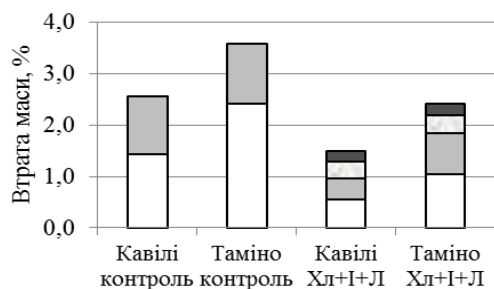


Рис. 7 – Динаміка природного убутку маси під час зберігання кабачків, середнє за 2010-2012 рр. □ – 0..6 діб □ – 6...12 діб, □ – 12...18 діб, ■ – 18...24 діб.

Після 28 діб зберігання, дослідні плоди демонструють пружність на 6,4 % вищу, ніж контрольні через тиждень зберігання. Така висока ефективність комплексного препарату зумовлена стабілізуючою дією антиоксидантів по відношенню до структурної організації ліпідної матриці клітинних мембран, цілісність яких має безпосереднє відношення до пружності плодів.

Незважаючи на сортові особливості, теплова обробка кабачків антиоксидантами також вірогідно інгібує процес зниження пружності при зберіганні. На кінець зберігання дослідних плодів (24 доба), їх твердість була такою ж як на кінець зберігання контрольних (12 доба) (див. рис. 2, 3). Це доводить стабілізуючу дію антиоксидантів на цілісність клітинних мембран.

За даними багатьох дослідників, при зберіганні огірків протягом 15 діб втрати маси становлять від 3 до 7 % [7, 8]. Варто зазначити, що за нормами природного убутку продовольчих товарів [9], для огірків втрати під час зберігання становлять лише 0,8...0,9 %. Отримані результати свідчать про необґрунтованість таких норм (рис. 4).

Теплова обробка антиоксидантами суттєво скорочує втрати маси. При застосуванні препарату Хл+І+Л, убуток маси огірків скорчується в 4,4...4,7 раз залежно від гібриду. Скорочення убутку маси при застосуванні теплової обробки антиоксидантами, пов'язано з наявністю трьох компонентів сильної антиоксидантної дії, які уповільнюють протікання окислювальних процесів. Крім того захисне покриття, яке утворює антиоксидантна композиція на поверхні плодів відразу ж після нанесення (рис. 8), знижує інтенсивність випаровування. При випаровуванні вологи з плоду, лецитин, що зв'язує з ліпідами кутикулярного шару, і виступає додатковою мембранною системою, яка сповільнює процес

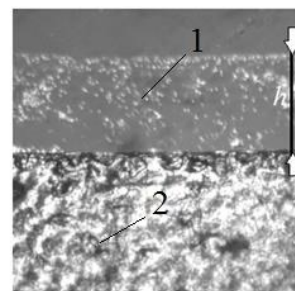


Рис. 8 – Антиоксидантна композиція на поверхні плоду огірка під мікроскопом (збільшення 15×20): 1 – антиоксидантний препарат, 2 – клітини епікарпію.

втрати маси. Для огірків є входить до складу препарату, її уловлює та несправедливим поширене твердження про найбільш інтенсивні природні втрати маси на першому етапі зберігання (див. рис. 5). В огірках з тепловою обробкою антиоксидантами втрати маси взагалі рівномірні по періодам зберігання. Отримані результати співпадають з даними інших дослідників, які звітують про низьку варіабельність природного убутку маси залежно від сезону вирощування та відсутність статистично вірогідних відмінностей у рівномірності втрат по періодам зберігання [10, с.158, 159].

Застосування теплової обробка антиоксидантом Хл+І+Л також дозволяє в 3,0...3,5 рази скоротити природний убуток маси кабачків, залежно від гібриду. На відміну від огірків втрати маси у кабачків найбільші на першому етапі зберігання, що співпадає з даними інших дослідників [11]. У кабачків з попередньою тепловою обробкою комплексним антиоксидантом Хл+І+Л, подальша втрата маси поступово скорочується по періодам зберігання. І на кінцевому етапі зберігання природні втрати маси найменші. При двічі довшому терміні зберігання, в дослідних варіантах втрати маси нижчі ніж в контролі в 1,7 рази для гібриду Кавілі та в 1,5 для гібриду Таміно.

### Висновки

За теплової обробки комплексним антиоксидантом Хл+І+Л, після зберігання, дослідні плоди демонструють пружність як контрольні через тиждень зберігання. Незважаючи на видові та сортові особливості, теплова обробка гарбузових овочів комплексним антиоксидантом на основі хлорофіліпту, іонолу та лецитину, вірогідно інгібує процес зниження пружності при зберіганні. Бактерицидно антиоксидантний

комплекс на основі хлорофіліпту, іонолу та лецитину зменшує середньодобову втрату маси огірків в 4,4...4,7 рази та кабачків в 3,0...3,5 рази, залежно від гібриду.

#### Список літератури

- 1 **Mahajan, P. V.** Postharvest treatments of fresh produce [Electronic resource] / **P. V. Mahajan, O. J. Caleb, Z. Singh** [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2014. – Vol. 372, № 2017, 20130309. – Available at: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/372/2017/20130309.full>
- 2 **Прісс, О.П.** Скорочення втрат під час зберігання овочів чутливих до низьких температур / **О.П. Прісс, В.В. Калітка** // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр.* – 2014. – Вип.1(19). – С. 209 – 221.
- 3 **Abbott, J. A.** Quality measurement of fruits and vegetables / **J. A. Abbott** // *Postharvest Biology and Technology*. – 1999. – Vol. 15, №3. – P. 207–225.
- 4 **Orona, V. U.** Water status and anatomic changes in stored zucchini (*Cucurbita pepo* L.) / **V. U. Orona, D. M. Rangel, T. O. Enciso** [et al.] // *Revista Fitotecnica Mexicana*. – 2012. – Vol. 35, №3. – P. 221–228.
- 5 **Kang, H. M.** Elevated growing temperatures during the day improve the postharvest chilling tolerance of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus*) fruit / **H. M. Kang, K. W. Park, M. E. Saltveit** // *Postharvest Biology and Technology*. – 2002. – Vol. 24, №1. – P. 49 – 57.
- 6 Пат. 41177 UA, A23B 7/00, A23L 3/34. Речовина для обробки плодів овочів перед зберіганням / **О.П. Прісс, Т.Ф. Прокудіна, В.Ф. Жукова**. – у 2008 13962; заявл. 04.12.2008; опубл. 12.05.09; Бюл. № 9.
- 7 **Wang, C. Y.** Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers / **C. Y. Wang, L. Qi** // *Postharvest Biology and Technology*. – 1997. – Vol.10, №3. – P. 195 – 200.
- 8 **Kasim, M. U.** Vapor heat treatment increase quality and prevent chilling injury of cucumbers (*Cucumis melo* L. cv. Silor) / **M. U. Kasim, R. Kasim** // *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* – 2011. – № 11 (2). – P. 269 – 274.
- 9 Норми природного убутку продовольчих товарів у торгівлі та інструкції з їх застосування [Електронний ресурс] : Затв. МінТорг СРСР 02.04.87 № 88. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v0088400-87>
- 10 **Villalta, A. M.** Effect of growing season, storage temperature and ethylene exposure on the quality of greenhouse-grown Beit Alpha cucumber (*Cucumis Sativus* L.) in North Florida: doctoral dissertation for the degree of master of science / **Alfredo Mauricio Villalta**. – *University of Florida*, 2005. – 182 p.

- 11 **Carvajal, F.** Differential response of zucchini varieties to low storage temperature / **F. Carvajal, C. Martinez, M. Jamilena, D. Garrido** // *Scientia Horticulturae*. – 2011. – Vol. 130, №1. – P. 90 – 96.

#### References

- 1 **Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M.** Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2014, **372** (2017), 20130309. – Available at: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/372/2017/20130309.full>
- 2 **Priss, O. P., Kalitka, V. V.** Reduction of losses during storage vegetables sensitive to low temperatures. *Progressive technique and technology of food production and restaurant industry trade*, 2014, **1** (19), 209 – 221.
- 3 **Abbott, J. A.** Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, **15** (3), 207 – 225.
- 4 **Orona, V. U., Rangel, D. M., Enciso, T. O., Barajas, A. S., Sanudo, M. B., Torres, B. V., Cepeda, J. S., Saucedo, J. C.** Water status and anatomic changes in stored zucchini (*Cucurbita pepo* L.). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 2012, **35** (3), 221 – 228.
- 5 **Kang, H. M., Park, K. W., Saltveit, M. E.** Elevated growing temperatures during the day improve the postharvest chilling tolerance of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, **24** (1), 49 – 57.
- 6 **Priss, O.P., Prokudina, T.F., Zhukova, V.F.** Substance for the treatment of fruit vegetables before storage. Pat. 41177 Ukraine, IPC A23B 7/00, A23L 3/34, 2009.
- 7 **Wang, C. Y., Qi, L.** Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 1997, **10** (3), 195 – 200.
- 8 **Kasim, M. U., Kasim R.** Vapor heat treatment increase quality and prevent chilling injury of cucumbers (*Cucumis melo* L. cv. Silor). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2011, **11** (2), 269 – 274.
- 9 Standards of natural loss in weight of food trade and instructions for their use: approved Ministry of Trade of the USSR 02.04.87 № 88, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v0088400-87>
- 10 **Villalta A. M.** *Effect of growing season, storage temperature and ethylene exposure on the quality of greenhouse-grown Beit Alpha cucumber (Cucumis Sativus L.) in North Florida*. 2005. PhD Thesis. University of Florida.
- 11 **Carvajal, F., Martinez, C., Jamilena, M., & Garrido, D.** Differential response of zucchini varieties to low storage temperature. *Scientia Horticulturae*. 2011, **130** (1), 90 – 96.

Надійшло (received) 03.03.2015



УДК 541.1

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ РАСТВОРИТЕЛЯ НА КОРРЕГИРОВАННУЮ ПРЕДЕЛЬНУЮ МОЛЯРНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СОЛЕЙ МЕДИ (II)

Е. В. КОФАНОВА\*

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ,  
УКРАЇНА  
\*email: alexina555@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** Вивчення впливу властивостей розчинника на процеси іонної асоціації і іонної міграції у розчинах несиметричних електролітів здійснено в бінарних змішаних розчинниках, де основним компонентом є диметилсульфоксид, а допоміжними – хлоробензен і піридин. Процес активації іонної міграції сильно залежить від в'язкості розчинника, тому саме скорегована на в'язкість розчинника гранична молярна електропровідність  $\lambda_0\eta$  дає змогу дійти висновків щодо впливу характеристик бінарного розчинника на величину граничної молярної електропровідності  $\lambda_0$ .

**Ключевые слова:** розчин електроліту, розчинник, несиметричний електроліт, кислота Льюїса, іонна асоціація, кондуктометрія

**АННОТАЦИЯ** Изучение влияния свойств растворителя на процессы ионной ассоциации и ионной миграции в растворах несимметричных электролитов проводилось в двойных смешанных растворителях, где основным компонентом был диметилсульфоксид, а вспомогательными – хлорбензол и пиридин. Процесс активации ионной миграции сильно зависит от вязкости растворителя, поэтому именно скорректированная на вязкость растворителя предельная молярная электропроводность  $\lambda_0\eta$  дает возможность сделать выводы о влиянии характеристик смешанного растворителя на величину предельной молярной электропроводности  $\lambda_0$ .

**Ключевые слова:** раствор электролита, растворитель, несимметричный электролит, кислота Льюиса, ионная ассоциация, кондуктометрия

## SOLVENT PROPERTIES INFLUENCE ON CORRECTED LIMITING MOLAR CONDUCTIVITY OF COPPER (II) SALTS

O. KOFANOVA\*

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute", Kyiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Most of catalytic chemical processes are held in non-aqueous liquid media. So it is necessary to obtain reliable information about the solvent influence on the equilibrium in non-aqueous solutions. The problem of the solvent influence on the polyvalent electrolytes behavior in non-aqueous media has become extremely important for scientists. Thermodynamic characteristics of polyvalent electrolytes ion association process are important data for Lewis acids' relative force evaluation and their catalytic activity comparison. It allows us to make some conclusions about the solvent properties influence on the stage ion association of polyvalent electrolytes. So media effect on ion association of non-symmetrical electrolytes has been investigated in binary mixed solvents. It allows analyzing the solvent influence on the ion association of investigated electrolytes by means of changing the solvent composition. Dimethylsulfoxide has been chosen as a basic solvent and chlorobenzene and pyridine have been chosen as the second component of binary solvent. As ionic migration values strongly depend on solvent viscosity, it is considered that corrected on the viscosity limiting molar conductivity values  $\lambda_0\eta$  give us more information about the mixed solvent composition dependence on limiting molar conductivity  $\lambda_0$ . The analysis of changes of corrected limiting molar conductivity values  $\lambda_0\eta$  with binary solvent composition, and also comparison of these dependences for  $\text{CuCl}_2$  and  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  solutions allows us to make a conclusion about the main influence of electrolyte system solvation characteristics on the ion migration process.

**Keywords:** electrolyte solution, solvent, asymmetric electrolyte, Lewis acid, ionic association, conductometry

### Введение

За последние годы изучение свойств несимметричных электролитов привлекает все большее внимание исследователей и практиков. Это обусловлено тем, что многие из электролитов такого типа широко

используются при осуществлении процессов органического синтеза, в гальванике и катализе.

Одним из наиболее чувствительных методов определения ионного состава растворов электролитов, констант ионной ассоциации и величин ионной миграции

электролитов является метод кондуктометрии. Однако, на фоне интенсивных исследований, посвященных кондуктометрическому изучению неводных электролитных систем, отмечается существенное отставание теоретических основ и количественного описания электропроводности растворов несимметричных электролитов. Это обусловлено тем, что проблема интерпретации кондуктометрических данных для таких систем очень сложна [1–2].

### Цель работы

Целью работы является разработка теоретико-экспериментальных вопросов изучения влияния растворителя на процессы ионной ассоциации и ионной миграции солей меди (II) в неводных средах.

### Изложение основного материала

Изучение влияния растворителя на термодинамику равновесных и транспортных процессов является важным направлением современной теории растворов. Применительно к растворам электролитов проблема заключается в изучении связей микро- (радиус ионов электролита, размеры участвующих в сольватации молекул, их дипольный момент и др.) и макрохарактеристик систем (диэлектрическая проницаемость и вязкость растворителя, энергия специфической сольватации и др.) с термодинамическими характеристиками процессов ионной ассоциации и активации ионной миграции. Для растворов несимметричных электролитов данная проблема до сих пор изучена недостаточно.

Как известно, в большинстве жидких систем, образованных несимметричными электролитами и неводными растворителями, необходимо учитывать ионную ассоциацию. Первый продукт такой ассоциации – ион, который вносит вклад, как в электропроводность, так и в межионные взаимодействия в растворе. То есть сложность представляет собой моделирование даже двухионной электролитной системы, не говоря уж о системе с большим количеством разноразрядных (и разнозарядных) ионов.

И хотя кондуктометрия является одним из наиболее распространенных методов изучения электролитных систем, большая часть работ посвящена изучению симметричных электролитов, где ионы имеют одинаковые заряды, а растворы содержат только два типа ионов. Для описания таких систем предложено достаточно большое количество теорий и уравнений электропроводности, однако ни одно

из этих уравнений не может быть непосредственно использовано для описания электролитных систем, содержащих несимметричные электролиты [3–5].

В нашем исследовании в качестве неводных растворителей использованы диметилсульфоксид (ДМСО) (базовый растворитель), пиридин (Py) и хлорбензол (ХБ). Все растворители очищали по описанным в литературе методикам до совпадения их физических констант с литературными данными (плотность, вязкость, диэлектрическая проницаемость, коэффициент преломления, удельная электропроводность). Контролировалось также содержание воды в растворителях, которое не превышало 0,01 масс. %.

В качестве несимметричных электролитов взяты соли меди (II) – хлорид меди  $\text{CuCl}_2$ , полученный согласно методике [6], и хлорид диэтилендиаминового комплекса меди (II)  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$ , полученный аналогично методике [7] из  $\text{CuCl}_2$ . Исходные растворы электролитов готовились весовым методом с учетом поправки на взвешивание в воздухе. При приготовлении смесей и проведении измерений особое внимание уделялось герметизации сосудов, тщательному изолированию их от влаги воздуха. Погрешность приготовления растворов определялась величиной минимальной навески и не превышала 0,3 %; суммарная погрешность определения величин молярной электропроводности была не выше 1 %.

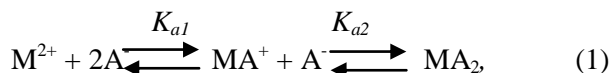
Исследование изменения величин электропроводности растворов во времени, а также температурного гистерезиса показали отсутствие нежелательного химического взаимодействия между компонентами во всех изучаемых растворах. Данные физико-химического анализа изученных смешанных растворителей также свидетельствуют о том, что во всех системах отсутствует химическое взаимодействие с образованием новых соединений.

### Обсуждение результатов

Изучение ионной ассоциации электролитов кондуктометрическим методом связано с проблемой выбора уравнения электропроводности, которое наиболее точно описывает экспериментальные зависимости  $\lambda = f(c)$  и обеспечивает расчет адекватных значений предельных молярных электропроводностей и констант ионной ассоциации. Как показано в наших ранних работах [3–5], в литературе содержится незначительное

число данных одновременно по двум константам ступенчатой ассоциации для 2–1 или 1–2 электролитов, не говоря уж о константах ассоциации электролитов, содержащих ионы с большим зарядом. Поэтому в основу расчета предельных молярных электропроводностей и констант ионной ассоциации положена предложенная нами методика обработки кондуктометрических экспериментальных данных для растворов несимметричных электролитов [8].

В частности, для равновесия, описываемого схемой:



где  $K_{a1}$  и  $K_{a2}$  – константы ионной ассоциации по первой и второй ступеням, соответственно, молярная электропроводность  $\lambda$  записывается следующим уравнением:

$$\lambda = [\lambda_{01} - (A_1 \cdot \lambda_{01} + B_1) I^{1/2}] \cdot c_1 / c_0 + [\lambda_{02} - (A_2 \cdot \lambda_{02} + B_2) \cdot I^{1/2}] \cdot c_2 / c_0, \quad (2)$$

где  $c_0$  – молярная концентрация электролита;  $\lambda_{01}$  и  $\lambda_{02}$  – предельные молярные электропроводности первой и второй ступеней ассоциации, соответственно;  $\lambda_{0i} = \lambda_{0+} + \lambda_{0-}$ ;  $\lambda_{0+}$  – предельная молярная электропроводность  $i$ -го катиона;  $\lambda_{0-}$  – предельная молярная электропроводность аниона;  $A_i$ ,  $B_i$  – коэффициенты Онзагера;  $c_1$ ,  $c_2$  – молярные концентрации катионов  $MA^+$  и  $M^{2+}$ , соответственно;  $I$  – ионная сила раствора.

Значения коэффициентов Онзагера для изучаемых 2–1 электролитов рассчитывались по уравнениям [8]:

$$A = (Q \cdot 11,8271 \cdot A_{11}) / (1 + Q)^{1/2};$$

$$B = 2,5981 \cdot B_{11},$$

где

$$A_{11} = 820400 / (\varepsilon T)^{3/2};$$

$$B_{11} = 82,501 / (\eta (\varepsilon T)^{1/2});$$

$$Q = 2 / (3 (1 + \lambda_{0-} / \lambda_{0+}));$$

$$P = 3 / (4 (1 + 2\lambda_{0-} / \lambda_{0+})).$$

Следует отметить, что для 2–1 электролита коэффициенты Онзагера являются функциями от величин предельной молярной электропроводности аниона  $\lambda_{0-}$  и предельной молярной электропроводности электролита  $\lambda_{0+}$ . [8] При этом на примере системы  $CuCl_2$ –ДМСО продемонстрируем, что  $\lambda_{01}$  и  $\lambda_{02}$ , а также  $K_{a1}$  и  $K_{a2}$  несильно отличаются даже для

граничных условий  $\lambda_{0+} = 0,1\lambda_{0-}$  и  $\lambda_{0+} = 0,9\lambda_{0-}$  (табл. 1).

Таблица 1 – Величины предельных молярных электропроводностей и констант ионной ассоциации в системе  $CuCl_2$  – ДМСО для граничных и расчетных условий

Условие	$\lambda_{01}$	$\lambda_{02}$	$K_{a1}$	$K_{a2}$
	См·м <sup>2</sup> /кмоль			
$\lambda_{0+}=0,1$ $\lambda_{0-}$	36,4	87,18	11,4	6,40
$\lambda_{0+}=0,5$ $\lambda_{0-}$	36,6	87,18	11,5	6,41
$\lambda_{0+}=0,9$ $\lambda_{0-}$	36,5	87,18	11,4	6,35

Из уравнения (2) следует, что молярная электропроводность  $\lambda$  зависит от величин предельных молярных электропроводностей по первой и второй ступеням ассоциации  $\lambda_{01}$ ,  $\lambda_{02}$ , и от молярных концентраций катионов  $MA^+$  и  $M^{2+}$   $c_1$  и  $c_2$ , которые, в свою очередь, зависят от констант равновесий  $K_{a1}$  и  $K_{a2}$  и от концентрации раствора электролита  $c_0$ . Таким образом, определение неизвестных величин  $\lambda_{01}$  и  $\lambda_{02}$ ,  $K_{a1}$  и  $K_{a2}$  на основании уравнения (2) можно провести путем нахождения минимума целевой функции по методу наименьших квадратов:

$$\sigma = \left[ \sum_{j=1}^{NT} (\lambda_{exp,j} - \lambda_{calc,j})^2 / (NT-2) \right]^{1/2},$$

где  $NT$  – количество экспериментальных точек изотермы электропроводности  $\lambda = f(c)$ ;  $\lambda_{exp,j}$  – экспериментальные значения молярной электропроводности;  $\lambda_{calc,j}$  – расчетные значения молярной электропроводности, рассчитанные по уравнению (2).

Нахождение минимума целевой функции  $\sigma = \psi(K_{a1}, K_{a2}, \lambda_{01}, \lambda_{02})$  практически невозможно без использования методов нелинейного программирования, поскольку по уравнению (2) величины  $K_{a1}$  и  $K_{a2}$  связаны нелинейно. Кроме того, применение методов оптимизации предусматривает задание интервала поиска либо начальных значений констант ассоциации. Поэтому поиск минимума целевой функции проводился нами в интервале величин констант от  $10^{-10}$  до  $10^{+10}$  с использованием метода покоординатного спуска [9; 10].

Расчет концентраций ионов  $MA^+$  и  $M^{2+}$   $c_1$  и  $c_2$  проводили методом решения системы нелинейных уравнений, в которую входят выражения для констант равновесий через закон действующих масс, а также уравнения

электронейтральности и сохранения массы [11]. Предлагаемый метод позволяет одновременно определить обе константы ассоциации несимметричных электролитов типа 2–1 или 1–2. Корректность подхода апробирована на литературных данных по электропроводности несимметричных электролитов как в водных, так и в неводных средах [12–14].

Влияние растворителя на электропроводность раствора электролита складывается из влияния его вязкости, диэлектрической проницаемости и специфического взаимодействия с ионами электролитной системы. Вязкость растворителя определяет подвижность ионов, а диэлектрические свойства среды влияют на ион-ионные и ион-дипольные взаимодействия. Причем, последние воздействуют не только на скорость миграции ионов, но и на притяжение между разноименными ионами и, следовательно, на степень их связывания в ионные пары. Специфическая сольватация ионов влияет как на подвижность, так и на ассоциацию ионов. Поэтому преимуществом смешанного растворителя является возможность выявить соотносительное влияние физических и химических свойств растворителя на характеристики процесса ионной ассоциации (хлорбензол, например, слабое основание, а пиридин – сильное).

На основе анализа уравнения Измайлова [15], работ по изучению электропроводности 1–1 электролитов и зависимостей, полученных нами [3–5; 8; 11], делаем вывод о сохранении линейной экспоненциальной зависимости констант ступенчатой ассоциации от обратной диэлектрической проницаемости в изученных системах или на тех интервалах значений диэлектрической проницаемости, где энергия сольватации остается постоянной. Однако, в связи с тем, что величина ионной миграции сильно зависит от вязкости растворителя  $\eta$ , считается, что именно коррелированная на вязкость предельная молярная электропроводность  $\lambda_0\eta$  дает более наглядную характеристику зависимости предельной молярной электропроводности  $\lambda_0$  от состава смешанного растворителя. В табл. 2 и 3 приведены логарифмы коррелированной предельной молярной электропроводности  $\lambda_{01}\eta$  для растворов  $\text{CuCl}_2$  и  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  в изученных смешанных растворителях.

Таблица 2 – Коррелированная предельная молярная электропроводность  $\text{CuCl}_2$  в двойных смешанных растворителях ( $\lambda_{01} \cdot 10^3 \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{кмоль}$ ;  $\eta \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ )

Растворитель	$\ln(\lambda_{01}\eta)$		
	298,15 К	308,15К	323,15К
ДМСО–Ру (мольн. % ДМСО)			
100	-2,9	-3,0	-3,1
93,6	-4,0	-4,5	-4,9
81,0	-4,1	-4,6	-5,0
70,7	-4,2	-4,7	-5,2
50,3	-4,4	-5,0	-5,6
29,0	-4,9	-5,6	-6,2
20,5	-5,1	-5,9	-6,6
12,3	-5,5	-6,3	-7,3
ДМСО–ХБ (мольн. % ХБ)			
5,50	-3,1	-3,2	-3,4
8,00	-3,1	-3,3	-3,6
12,1	-3,3	-3,5	-3,8
14,6	-3,5	-3,7	-4,0
18,3	-3,7	-3,9	-4,2
20,5	-3,7	-4,0	-4,4
29,1	-4,2	-4,6	-5,0

Проанализированные нами изотермы зависимостей  $\ln(\lambda_{01}\eta)$  от  $1/\epsilon$  для исследуемых систем показали, что величины  $\ln(\lambda_{01}\eta)$  во всех случаях уменьшаются с падением диэлектрической проницаемости (постоянство вальденовского произведения не соблюдается). При этом зависимости  $\ln(\lambda_{01}\eta) = f(1/\epsilon)$  для растворов  $\text{CuCl}_2$  и  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  в смешанном растворителе с практически постоянной энергией сольватации ДМСО–ХБ в соответствии с [16] линейны. В растворителе ДМСО–Ру наблюдаются изломы на зависимостях  $\ln(\lambda_{01}\eta) = f(1/\epsilon)$ , отвечающие прохождению в данных системах процессов пересольватации катионов  $\text{CuCl}^+$  и  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$ .

После завершения процесса пересольватации в смешанном растворителе ДМСО–Ру также наблюдается линейное уменьшение величин  $\ln(\lambda_{01}\eta)$  с ростом содержания пиридина, что связано, с одной стороны, с увеличением размеров мигрирующих катионов, а, с другой стороны, падением диэлектрической проницаемости и усилением электростатических взаимодействий, приводящих к увеличению степени сольватации. Наблюдаемые изменения хорошо согласуются с результатами изменения констант ионной ассоциации по второй ступени [11].

Таблица 3 – Коррегированная предельная молярная электропроводность  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  в двойных смешанных растворителях ( $\lambda_{01} \cdot 10 \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{кмоль}$ ;  $\eta \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ )

Растворитель	$\ln(\lambda_{01} \eta)$		
	298,15 К	308,15К	323,15К
ДМСО–Ру (мольн. % Ру)			
9,30	1,6	1,5	1,4
20,3	0,4	-0,1	-0,2
29,5	-1,6	-2,1	-2,8
43,4	-4,8	-5,5	-6,0
47,8	-6,2	-6,2	-6,2
55,1	-6,2	-6,4	-6,6
60,1	-6,3	-6,6	-6,9
64,7	-6,5	-6,7	-7,1
69,4	-6,6	-6,9	-7,6
74,9	-6,7	-7,2	-7,8
80,1	-6,8	-7,4	-8,5
ДМСО–ХБ (мольн. % ХБ)			
0,00	2,7	2,6	2,5
5,50	2,4	2,3	2,1
10,0	2,2	2,1	1,8
14,7	1,9	1,7	1,4
18,0	1,7	1,4	1,1
26,1	1,1	0,7	0,2

Величины коррегированной предельной молярной электропроводности  $\lambda_{01} \eta$  в чистом диметилсульфоксиде для растворов  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  больше, чем для растворов  $\text{CuCl}_2$ . В растворителе ДМСО–ХБ эта закономерность сохраняется на всем исследованном интервале концентраций. В растворителе же ДМСО–Ру после завершения процессов пересольватации катионов  $\text{CuCl}^+$  и  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$  величины  $\lambda_{01} \eta$  для комплекса лежат ниже, чем для хлорида меди. Это обусловлено тем, что в чистом ДМСО катион  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$ , имеющий достаточно большой кристаллографический радиус, сольватирован мало, результатом чего является превышение среднего эффективного радиуса сольватированного ДМСО  $\text{CuCl}^+$  над радиусом  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$ . То есть молекулы этилендиамина в комплексе достаточно сильно экранируют катион меди, защищая его от взаимодействия с растворителем. Это и обусловило меньшую подвижность  $\text{CuCl}^+$  по сравнению с подвижностью иона  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$ .

По мере прохождения процесса пересольватации катионов пиридином происходит увеличение эффективных радиусов ионов  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$  и  $\text{CuCl}^+$ , но в этом случае превышения не наблюдается. То есть  $r_{s,+}$  для иона  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$ , сольватированного пиридином, остается больше  $r_{s,+}$  сольва-тированного катиона  $\text{CuCl}^+$ .

Следовательно, и подвижность катиона  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$  должна уменьшаться сильнее по сравнению с подвижностью катиона  $\text{CuCl}^+$  (табл. 2 и 3). Этот вывод хорошо согласуется с анализом величин констант ступенчатой ионной ассоциации [11]. Причем, процесс пересольватации для катиона  $\text{CuCl}^+$  завершается при введении достаточно малых добавок пиридина, чего нельзя сказать о процессе пересольватации комплексного катиона  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}^+$ .

Анализ зависимостей  $\ln(\lambda_{01} \eta) = f(1/\epsilon)$  показал, что тангенсы углов наклона для  $\text{CuCl}_2$  и  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  в смешанном растворителе ДМСО–Ру весьма близки, тогда как при переходе к растворителю ДМСО–ХБ они сильно различаются. Это свидетельствует о больших размерах сольватированных ионов в смешанном растворителе ДМСО–ХБ. Отметим, что уменьшение диэлектрической проницаемости ведет к уменьшению ионной подвижности, а повышение основности растворителя может сказываться двояко в зависимости от тенденции в изменении радиусов мигрирующих ионов вследствие процесса пересольватации. Этот вывод хорошо иллюстрируется ходом зависимостей  $\ln(\lambda_{01} \eta) = f(1/\epsilon)$  для растворов обоих электролитов в смешанном растворителе ДМСО–Ру [11].

### Выводы

Таким образом, анализ изменений величин коррегированной на вязкость растворителя предельной молярной электропроводности с составом двойного смешанного растворителя, а также сопоставление зависимостей для растворов электролитов  $\text{CuCl}_2$  и  $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{Cl}_2$  в изученных системах позволяет утверждать, что основное влияние на величины ионной миграции оказывают сольватационные характеристики электролитной системы. И наиболее существенно это влияние сказывается на изменении термодинамических характеристик процесса активации ионной миграции, что будет продемонстрировано в дальнейших исследованиях.

### Список литературы

- 1 **Pethybridge, A. D.** Interpretation of conductance studies on non-aqueous solutions of unsymmetrical electrolytes / **A. D. Pethybridge** // *Pure and Appl. Chem.*. – 1990. – V. 58, N 8. – P. 1163–1170.
- 2 **Apelblat, A.** Representation of electrical conductances for polyvalent electrolytes by the Quint-Viallard conductivity equation. Universal curves of limiting conductances and Walden products of electrolytes in mixed solvents. Part 5.

- Symmetrical 2:2, 3:3 and unsymmetrical 1:2, 2:1 and 1:3 type electrolytes / **Alexander Apelblat** // *J. of Solution Chem.* – 2011. – Vol. 9, N 40. – 1544–1562.
- 3 **Кофанова, Е. В.** Ионная ассоциация и ионная миграция несимметричных электролитов в двойных смешанных растворителях / **Е. В. Кофанова, В. Л. Чумак** // *Укр. хим. журн.* – 1992. – Т. 58. – № 12. – С. 1078–1081.
- 4 **Кофанова, О. В.** Порівняння відносної сили несимметричних електролітів у змішаному розчиннику диметилсульфоксид–хлоробензен / **О. В. Кофанова, В. Л. Чумак, Л. П. Антоненко, А. В. Підгорний** // *Укр. хим. журн.* – 1992. – Т. 58. – № 12. – С. 1078–1081.
- 5 **Фиалков, Ю. Я.** Влияние растворителя на термодинамику процессов ионной ассоциации и ионной миграции в растворах несимметричных электролитов / **Ю. Я. Фиалков, В. Л. Чумак, Е. В. Кофанова** // *Химия неводных растворов.* – 1992. – Т. 1. – № 1. – С. 77–90.
- 6 Руководство по препаративной неорганической химии / Под ред. **Г. Брауэра.** – М.: Издательский центр «Химия», 1956. – 896 с.
7. **Батыр Д. Г.** Координационные соединения марганца (II) с этилендиамином и исследование их каталитических свойств // **Д. Г. Батыр, В. Г. Исак, А. А. Кириенко, Э. В. Попа** // *Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по хим. невод. растворов неорганич. и комплексн. соед. (Ростов-на-Дону).* – 1985. – С. 66–67.
- 8 **Фиалков, Ю. Я.** Расчет параметров процесса ионной ассоциации в растворах несимметричных электролитов / **Ю. Я. Фиалков, В. Л. Чумак, Е. В. Кофанова** // *Электрохимия.* – 1989. – Т. 50. – № 12. – С. 1595–1598.
- 9 **Форсайт, Дж.** Машинные методы математических вычислений / **Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер.** – М.: Мир, 1980. – 279 с.
- 10 **Химмельблау, Д.** Прикладное нелинейное программирование / **Д. Химмельблау.** – М.: Мир, 1975. – 534 с.
- 11 **Kofanova, O. V.** Ion association of the polyvalent electrolytes in non-aqueous systems / **O. V. Kofanova, V. L. Chumak, M. R. Maksimyuk, L. P. Antonenko** // *Vishn. Nauc. asiac. un-tu (NAU).* – 2011. – № 3 (48). – С. 169–171.
- 12 **Pethybridge, A. D.** Study of association in unsymmetrical electrolytes by conductance measurements. Part 1. Non-aqueous solutions / **A. D. Pethybridge** // *Z. Phys. Chem., Neue Folge.* – 1982. – V. 133, N 2. – P. 143–158.
- 13 **Libuś, W.** Electrical conductances and coordination states of divalent transition metal perchlorates in dimethyl sulfoxide solution / **W. Libuś, M. Pilarszyk** // *Bull. acad. Polon. Sci., ser. sci. chim.* – 1972. – V. 20, N 6. – P. 539–547.
- 14 **McCallum, C.** Conductance of acids in dimethylsulfoxide.–II. Conductance of some strong acids in DMSO at 25°C / **C. McCallum** // *Electrochimica Acta.* – 1975. – V. 20, N 4. – P. 815–818.
- 15 **Измайлов, Н. А.** Электрохимия растворов / **Н. А. Измайлов**; [изд. 3-е, испр.]–М.: Химия, 1976.–488 с.
- 16 **Фиалков, Ю. Я.** Физическая химия неводных растворов / **Ю. Я. Фиалков, А. Н. Житомирский, Ю. А. Тарасенко.** – Л.: Химия, 1973. – 376 с.
- 17 **A. D. Pethybridge** // *Pure and Appl. Chem.* – 1990. – V. 58, N 8. – P. 1163–1170.
- 18 **Apelblat, A.** Representation of electrical conductances for polyvalent electrolytes by the Quint-Viallard conductivity equation. Universal curves of limiting conductances and Walden products of electrolytes in mixed solvents. Part 5. Symmetrical 2:2, 3:3 and unsymmetrical 1:2, 2:1 and 1:3 type electrolytes / **Alexander Apelblat** // *J. of Solution Chem.*, 2011, 40(9), 1544–1562.
- 19 **Kofanova, E. V., Chumak, V. L.** An ion association and ionic migration of asymmetrical electrolytes in the binary mixed solvents. *Ukrainskij himicheskij zhurnal*, 1992, 12 ( 58), 1078–1081.
- 20 **Kofanova, O. V., Chumak, V. L., Antonenko, L. P., Pidgornij, A. V.** Comparison of relative force of asymmetrical electrolytes in the mixed solvent dimethylsulfoxid–chlorobenzene. *Ukrainskij himicheskij zhurnal*, 1992, 12(58), 1078–1081.
- 21 **Fialkov, Ju. Ja., Chumak, V. L., Kofanova, E. V.** Solvent influence on thermodynamics of ion association and ion migration processes migration in asymmetrical electrolytes solutions. *Himija nevodnyh rastvorov*, 1992, 1( 1), 77–90.
- 22 The guidance for preparative inorganic chemistry / **G. Brauer**, Ed., M.: Izdatinlit, 1956, 896.
- 23 **Batyr, D. G., Isak, V. G., Kirienko, A. A., Popa, Je. V.** Coordination compounds of Manganese (II) with ethylenediamine and investigation of their catalytic properties. *Teisy dokladov V Vsesojuznogo soveshhanija po himii nevodnyh rastvorov neorganicheskikh i kompleksnyh soedinenij (Rostov-na-Donu)*, 1985, 66–67.
- 24 **Fialkov, Ju. Ja., Chumak, V. L., Kofanova, E. V.** Calculation of ion association process parameters in solutions of asymmetrical electrolytes. *Jelektrohimiya*,
- 25 **Forsajt, Dzh., Mal'kol'm, M., Mouler, K.** Machine methods of mathematical calculations, M.: Mir, 1980, 279.
- 26 **Himmel'blau, D.** An applied non-linear programming, M.: Mir, 1975, 534.
- 27 **Kofanova, O. V., Chumak, V. L., Maksimyuk, M. R., Antonenko, L. P.** Ion association of the polyvalent electrolytes in non-aqueous systems. *Visnik Nacional'nogo aviacijnogo universitetu (NAU)*, 2011, 3(48), 169–171.
- 28 **Pethybridge, A. D.** Study of association in unsymmetrical electrolytes by conductance measurements. Part 1. Non-aqueous solutions. *Z. Phys. Chem., Neue Folge*, 1982, 2(133), 143–158.
- 29 **Libuś, W., Pilarszyk, M.** Electrical conductances and coordination states of divalent transition metal perchlorates in dimethyl sulfoxide solution. *Bull. acad. Polon. Sci., ser. sci. chim*, 1972, 6(20), 539–547.
- 30 **McCallum, C.** Conductance of acids in dimethyl sulfoxide.–II. Conductance of some strong acids in DMSO at 25°C. *Electrochimica Acta*, 1975, 4(20), 815–818.
- 31 **Izmajlov, N. A.** Electrochemistry of solutions; [изд. 3-е, ispr.]. M.: Himija, 1976.–488.
- 32 **Fialkov, Ju. Ja., Zhitomirskij, A. N., Tarasenko, A. N.** Physical chemistry of non-aqueous solutions. L.: Himija, 1973, 376.

#### References

- 1 **Pethybridge, A. D.** Interpretation of conductance studies on non-aqueous solutions of unsymmetrical electrolytes

Надійшла (received) 5.03.2015

УДК 664:665.1/7:539:542/543

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ У ТЕХНОХІМКОНТРОЛІ ЖИРОПЕРЕРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА

І.В. ЛЕВЧУК<sup>1</sup>, В.А. КІЩЕНКО<sup>1</sup>, В.К. ТИМЧЕНКО<sup>2</sup>, К.В. КУНИЦЯ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДП «Укрметртестстандарт», Київ, УКРАЇНА

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

\*email: iryna.levchuk.v@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** У статті представлено результати досліджень жирнокислотного, ацилгліцеринового складу та складу стеринової фракції сумішей рослинних і тваринних жирів. Показано, що сучасні способи ідентифікації олій та жирів повинні застосовувати комплекс аналітичних методів газорідної хроматографії та хроматомас-спектроскопії. Науково обґрунтовано необхідність перегляду схем технохімічного контролю початкової сировини жиропереробного виробництва.

**Ключові слова:** олієжирова сировина, жирнокислотний склад, ацилгліцериновий склад, склад стеринів, технохімічний контроль

**АННОТАЦИЯ** В статье представлены результаты исследований жирнокислотного, ацилглицеринового состава и состава стериновой фракции смесей растительных и животных жиров. Показано, что современные способы идентификации масел и жиров должны использовать комплекс аналитических методов газожидкостной хроматографии и хроматомасс-спектроскопии. Научно обоснована необходимость пересмотра схем технохимического контроля исходного сырья жиропереработного производства.

**Ключевые слова:** масложировое сырье, жирнокислотный состав, ацилглицериновый состав, состав стеринов, технохимический контроль

## MODERN METHODS FOR THE IDENTIFICATION OF OILS AND FATS IN TECHNOKONTROL INOPERATIVE PRODUCTION

I. LEVCHUK<sup>1</sup>, V. KISHCHENKO<sup>1</sup>, V. TIMCHENKO<sup>2</sup>, E. KUNITSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SE "Ukrmetrteststandard", Kiev, UKRAINE

<sup>2</sup> National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** There is the acute problem of adulteration of food and food raw materials, particularly oil and fat in Ukraine today. The main analytical technique used to identify edible vegetable oils, is the determination of the total fatty acid composition, however, this method is not always possible to determine the composition of mixtures of fats. The article presents the research results of fatty acid and acylglycerols structure and composition of the sterol fraction of model mixtures of milk fat with alien fats of animal and vegetable origin. The developed method is a comprehensive approach to the identification of milk fat, which includes the analysis of fatty acid composition, acylglycerols structure and composition of the sterol fraction. For detection of adulteration of milk fat according to acylglycerols composition defined boundaries define alien fats, which range from 2-10 %. According acylglycerols composition of model mixtures of milk fat palm oil (natural and hydrogenation) developed a computational method for determining the content of palm oil fatty basis spreads and other fatty substances, which allows to determine the content of palm oil in the fatty bases spreads and other fatty compounds. Practical recommendations regarding the need to revise the schemes technochemical control in the production of spreads, margarine, blended vegetable oils, confectionery, culinary, bakery and dairy fats by using modern methods of identification of oils and fats using chromatographic methods research.

**Keywords:** oil fatty raw materials, fatty acid composition, acylglycerols composition, the composition of sterols, technochemical control

### Вступ

Найважливішою умовою виробництва високоякісної олієжирової продукції є проведення фундаментальних досліджень властивостей сировини та продукції з неї.

Виробництво високоякісної олієжирової продукції є можливим на основі суворого дотримання технічних і технологічних регламентів, рецептур, санітарно-гігієнічних норм і правил та здійснення багатопараметричного моніторингу показників

© І. В. ЛЕВЧУК, В. А. КІЩЕНКО, В. К. ТИМЧЕНКО, К. В. КУНИЦЯ 2015

якості сировини і готової продукції. Запровадження комп'ютерних технологій, використання сучасної високоефективної вимірювальної техніки і засобів вимірювання, експрес-методів мікробіологічного та фізико-хімічного контролю якості продукції є запорукою виробництва олієжирових продуктів харчування гарантованої якості та безпеки, гармонізованих з міжнародними стандартами [1].

У жиропереробному підприємстві здійснюються наступні види контролю виробництва: операційний, інспекційний, прийомний, суцільний, вибірковий і періодичний, які здійснюються вимірювальними, реєстраційними, візуальними або органолептичними методами.

Схеми технохімічного контролю олієжирового виробництва включають: контроль сировини і матеріалів, контроль технологічного процесу та контроль готової продукції. Вперше вони були створені у 60-х роках минулого століття, переглянуті у період 1970-1971 [2], а у теперішній час є прерогативою технологічних регламентів конкретного підприємства.

У зв'язку з появою в Україні олієжирових підприємств різних форм власності, розширенням асортименту продукції споживчий ринок не обходиться без підробок або продуктів сумнівної якості.

Сьогодні в Україні існує також гостра проблема щодо фальсифікації харчових продуктів та продовольчої сировини, зокрема, олієжирової. Найчастіше фальсифікуються дорогі види рослинних олій та продукти, що містять молочний жир.

Основним аналітичним методом, який використовується для ідентифікації харчових рослинних олій, є визначення загального жирнокислотного складу. Проте, цей метод не завжди дозволяє встановити склад жирових сумішей. Крім того, одержані негативні результати потребують додаткового підтвердження [3-5].

Тому для достовірної ідентифікації олій, жирів та жиромісних продуктів виникає необхідність застосування комплексного підходу, який базується на результатах визначення декількох показників: загального жирнокислотного складу, жирнокислотного складу у другому положенні ацилгліцеринових молекул, ацилгліцеринового складу та складу стеринової фракції. Метод газорідинної хроматографії з використанням капілярних

колонок і полум'яно-іонізаційного детектору дозволяє вирішити ці завдання.

Зважаючи на викладене вище, розробка сучасних схем технохімічного контролю олієжирової продукції з використанням сучасних методів інструментального аналізу та методів ідентифікації олій та жирів є актуальною науково-практичною проблемою.

#### Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Ідентифікація харчових продуктів є однією із складових технічного регулювання, яке в умовах глобалізації світового ринку відноситься до одного із основних регуляторів проблеми бар'єрів у торгівлі. Технічне регулювання налагоджує взаємини між суб'єктами ринку з метою запобігання появи на ринку недоброякісної, потенційно небезпечної та контрафактної продукції. Глобалізація світового ринку спричиняє довге переміщення харчових продуктів уздовж логістичного ланцюгу, що приводить до його знеособлення і виникають проблеми виявлення походження продукції і відповідності її якості [6].

Одним із заходів, який забезпечує випуск якісної та безпечної продукції, є запровадження на підприємстві харчової промисловості системи управління якістю та безпеки з обов'язковим застосуванням принципів HACCP [7]. Однак, доцільно відмітити, що використання таких систем управління якістю та безпекою не вирішує всіх проблем, оскільки запроваджує вимоги тільки до власне виробництва продукції. Між тим якість продукції визначається не тільки вимогами до самої продукції, але й до відповідної сировини, умовам зберігання і транспортування, вирощування і т. ін. Саме ця складова харчового ланцюгу найбільш вразлива у процесі контролювання і оцінці відповідності споживчим вимогам.

Оцінити якість продукції у харчовому ланцюзі, виявити відповідність її бажаним нормам, а також походження можна тільки шляхом ідентифікації.

Ідентифікація відрізняється за способами реалізації і призначенню від процедури оцінки якості і безпеки харчової продукції, яка виконується за сурово регламентованим у нормативній документації переліком показників і по суті тільки підтверджує відповідність її конкретному стандарту або технічним умовам [7].



Значне розширення асортименту продуктів харчування на споживчому ринку супроводжується, на жаль, намаганнями деяких виробників випускати під виглядом відомих товарних марок відверті підробки або продукцію явно заниженої якості. Найчастіше фальсифікації піддають дорогі види рослинних олій (маслинову, какао-масло, горіхову) і молочні продукти (масло, вершки, сметану, сир, згущене та сухе молоко, морозиво та ін.). Фальсифікацію олієжирової продукції можна умовно розділити на дві групи: «груба», якщо вміст рослинних добавок більше 20 %, і «тонка», коли частка останніх – менше 20 % [8]. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває пошук, розробка і удосконалення сучасних методів контролю, які б змогли швидко і ефективно виявити факт фальсифікації жирового продукту.

Фізико-хімічні показники, які визначають традиційними способами, є недостатніми для оцінки якості і перевірки аутентичності жирів, оскільки у олієжировому виробництві з'явилися нові технології модифікування жирів (гідрогенізування, переетерифікування, купажування та ін.), які ускладнюють виявлення фальсифікатів [10-13].

У наступний час для виявлення фальсифікацій жирових продуктів все більшого поширення набувають методи газорідинної хроматографії, інфрачервоної Фур'є-спектроскопії та хроматомас-спектроскопії [8, 9].

Найбільш достовірними показниками, які характеризують якість та аутентичність олієжирової продукції є жирнокислотний та ацилгліцериновий склади [14, 15], а також параметри стеринової фракції, які визначають хроматографічними і спектрометричними методами [16-18].

#### Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є створення наукового підходу до розробки сучасних схем технохімічного контролю сировини і готової продукції жиропереробного виробництва.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити метод комплексного підходу до ідентифікації молочного жиру;
- дослідити технологічні суміші молочного жиру і його заміника з натуральною та гідрованою пальмовою олією;
- сформулювати науково обгрунтовані

рекомендації щодо сучасних схем технохімічного контролю жиропереробного виробництва.

#### Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами даного дослідження є рослинні та тваринні жири і жирові продукти з комбінованою жировою фазою.

Для дослідження використовували методи газорідинної хроматографії.

Жирнокислотний склад, склад стеринів та цис-транс ізомери жирних кислот досліджували методом газорідинної хроматографії на газовому хроматографі Hewlett Packard HP-6890 із застосуванням капілярної колонки HP-88 (88%-cyanopropyl aryl-polysiloxane, Agilent Technologies) довжиною 100 м, з внутрішнім діаметром 0,25 мм та товщиною нерухомої фази 0,2 мкм за наступних умов: швидкість потоку газу-носія – 1,2 мл/хв, коефіцієнт поділу потоку – 1:100, температура випаровувача – 280 °С, температура детектора (ПД) – 290 °С, температурний режим колонки – поступовий нагрів від 60 °С до 230 °С.

Для ідентифікації хроматографічних піків та обрахунку хроматограм використовували суміш метилових ефірів жирних кислот 37 Component FAME Mix т.м. Supelco (кат. № 47885-U). Реєстрацію та обробку хроматограм здійснювали за допомогою персонального комп'ютера, оснащеного програмним забезпеченням HP ChemStation.

Визначення ацилгліцеринового складу проводили на газовому хроматографі CP-3800 (Varian), обладнаному полум'яно-іонізаційним детектором, системою електронного управління потоками газів, універсальним інжектором для введення зразків у режимах з розділенням та без розділення потоків та автосемплером (CP-8410 Varian). Використано капілярну колонку DB-5HT (Agilent Technologies) довжиною 15 м. Нерухома фаза метилфенілполісилоксан. Програмування температур від 90 °С до 380 °С. Для калібрування колонки використовувався стандартизований зразок зневодненого молочного жиру BCR 519. Ідентифікацію піків та їх інтегрування проводили з використанням програмного забезпечення "Galaxy".

**Результати дослідження ідентифікації олій та жирів та жировмістивних продуктів**

Таблиця 1 – Межа визначення чужорідних жирів у молочному жири, %

Вид жиру	Межа визначення, %
Соняшникова олія	2
Соєва олія	5
Ріпакова олія	7
Пальмоядрова олія	5
Пальмова олія	5
Кокосова олія	5
Замінник молочного жиру з комбінованим складом	5
Свинячий жир	5
Риб'ячий жир	10
Жир морських ссавців	10

Виявлення фальсифікації молочного жиру залишається актуальним науковим завданням у зв'язку із появою на ринку України великої кількості так званого «вершкового масла» та інших молочних продуктів з додаванням жирів рослинного та тваринного походження.

Для виявлення фальсифікації молочного жиру недостатньо даних щодо жирнокислотного та ацилгліцеринового складу, які дають змогу тільки якісно оцінити присутність інших жирів. Зокрема, визначити 10-20 % домішок за допомогою аналізу жирнокислотного складу неможливо за причини природних коливань складу жирних кислот і молочного жиру, і рослинних жирів у досить широкому діапазоні [19–21].

Для встановлення процентного вмісту молочного жиру в жировій суміші визначають склад стеринової фракції, зокрема, виявляють кількість холестеролу, як стеролу тваринного походження. Слід відмітити, що у останній час в Україну потрапляють комерційні жири для молочних продуктів, що містять тваринні жири, зокрема, оброблені за спеціальною технологією жири морських ссавців. В таких продуктах головним стеринном у складі стеринової фракції залишається холестерол, масову частку якого максимально наближено до молочного жиру.

Визначення фальсифікації олієжирової продукції за складом стеринової фракції (власне за вмістом рослинних стеринів) з використанням газової хроматома-спектроскопії є найбільш достовірним методом, який дозволяє виявити добавки олій рослинного походження від 2 % і вище.

На підставі виконаних нами досліджень ацилгліцеринового складу модельних сумішей молочного жиру з чужорідними рослинними та тваринними жирами визначено межі визначення їх, які наведено в табл. 1.

Таким чином, для ефективного технохімічного контролю виробництва і переробки молочного жиру, а також визначення його фальсифікації необхідно застосування комплексу аналітичних методів, який включає визначення загального жирнокислотного складу, ацилгліцеринового складу та складу стеринової фракції.

Як свідчить практика жиропереробного виробництва, під час виробництва маргаринової продукції та спеціальних жирів часто використовують натуральну та гідровану пальмову олію та їх технологічні суміші з іншими жирами. Такі композиції часто використовуються як замітники молочного жиру, жири для кондитерської та молочної промисловості, жирові основи спредів.

Для перевірки якості жирів, що входять до складу спредів, а також дотримання співвідношення молочного і рослинного жирів запропоновано визначати ацилгліцериновий склад жирових основ у поєднанні з кількісним аналізом масляної ( $C^0_4$ ) кислоти, характерної для молочного жиру.

Оцінку доцільності визначення ацилгліцеринового складу зроблено на підставі визначення цього показнику для модельних сумішей молочного жиру (20-95 %) і пальмової олії (5-80 %) та молочного жиру (60-95 %) і гідрованої пальмової олії (5-40 %). Одержані дані щодо ацилгліцеринового складу зазначених технологічних сумішей у порівнянні з таких індивідуальних компонентів представлено на рис. 1,2 у вигляді діаграм.

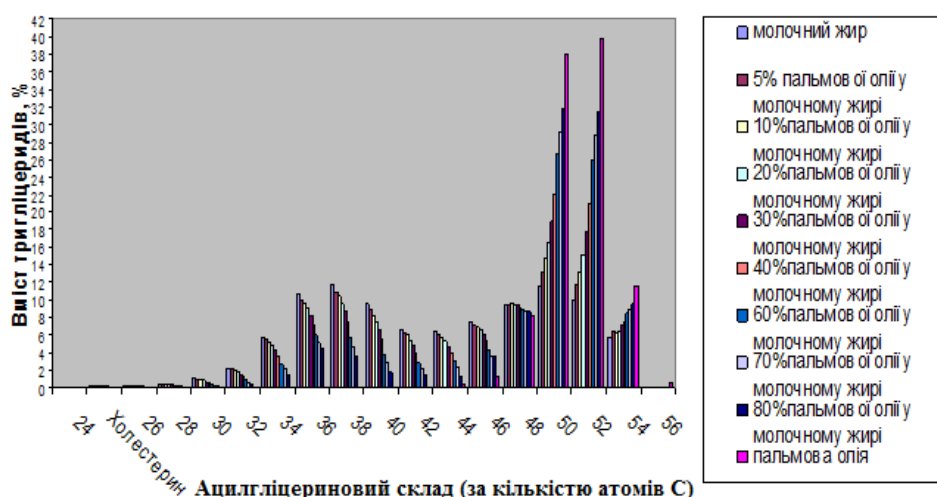


Рис. 1 – Діаграма ацилгліцеринового складу молочного жиру, дезодорованої пальмової олії та їх сумішей

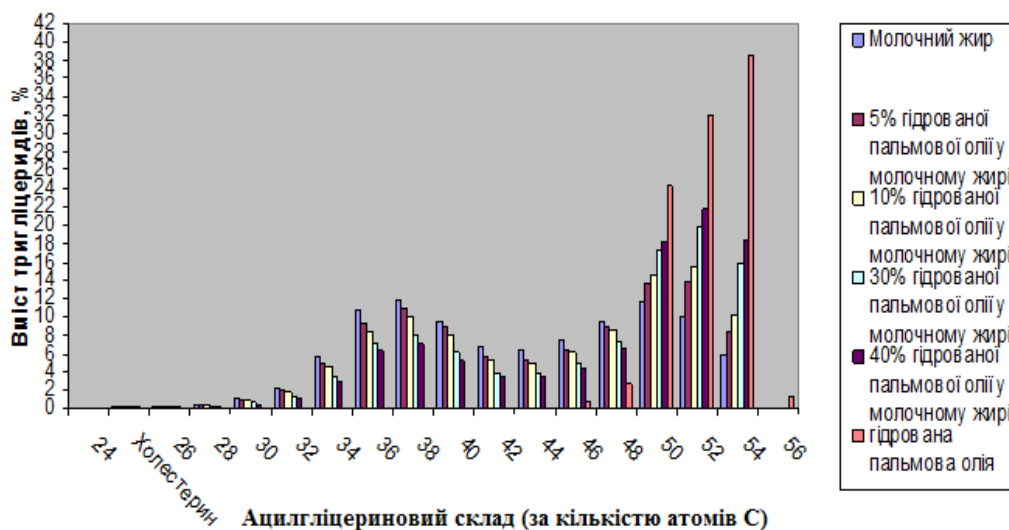


Рис. 2 – Діаграма ацилгліцеринового складу молочного жиру, гідрованої пальмової олії та їх сумішей

Встановлено, що зі збільшенням частки домішки пальмової олії (натуральної та гідрованої) у молочному жирі вміст високомолекулярних ацилгліцеринів (C50, C52, C54) збільшується, а вміст низько- та середньомолекулярних (C24-C44) – знижується.

Очевидно, що вміст високомолекулярного ацилгліцерину C54 у гідрованій пальмовій олії ( $38,694 \pm 0,520$  %) є значно більшим, ніж у дезодорованій пальмовій олії ( $11,631 \pm 0,086$  %) за рахунок зміни жирнокислотного складу і перетворення лінолевої кислоти у транс-ізомери олеїнової ( $C_{18}^{1=}$ ) кислоти.

Аналогічні дані одержано для сумішей молочного жиру з кокосовою, пальмоядровою,

рідкими рослинними оліями (соєвою, ріпаковою, маслиною, соняшниковою, лляною, кукурудзяною), гідрованим рибацьким жиром, свинячим жиром та замінниками молочного жиру «Комбіол» та «Делікон».

Для всіх досліджених сумішей одержано розрахункові формули сумарного ацилгліцеринового складу на основі пакетів прикладних програм Microsoft Office Excel.

У загальному вигляді сумарний ацилгліцериновий склад визначають лінією регресії

$$S = 2,7575 \cdot C_{26} + 6,4077 \cdot C_{28} + 5,5437 \cdot C_{30} - 15,3247 \cdot C_{32} + 6,2600 \cdot C_{34} + 8,0108 \cdot C_{40} - 5,0336 \cdot C_{42} + 0,6356 \cdot C_{44} + 6,0171 \cdot C_{46} \quad (1)$$

де:  $S$  – сумарний вміст ацилгліцеринів, %;  
 $C_{26}, C_{28}...C_{46}$  – масова частка індивідуальних ацилгліцеринів, %.

Встановлено також, що при збільшенні вмісту замінику у молочному жирі лінійно збільшується масова частка ацилгліцеринів  $C_{50}$  і  $C_{52}$  (рис. 3), що є найкращою ознакою присутності домішки пальмової олії у молочному жирі.

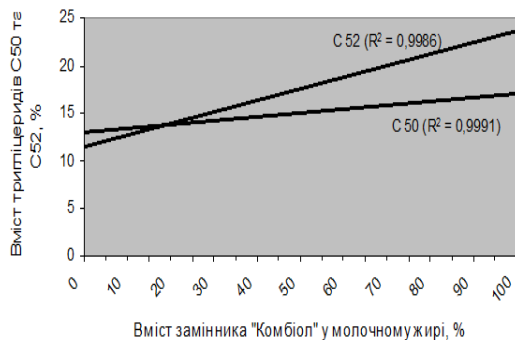


Рис. 3 – Кореляція між вмістом заміника «Комбіол» у молочному жирі та вмістом  $C_{50}$  або  $C_{52}$  у цих сумішах

Крім сумарного ацилгліцеринового складу ( $S$ ), розрахованому за рівнянням (1), одержано подібні залежності для конкретних сумішей, які дозволяють розрахувати ацилгліцериновий склад суміші молочного жиру з певним чужорідним жиром ( $S_f$ ). Далі за процедурою, яку детально представлено в роботі [22], розраховують, наприклад, вміст пальмової олії у жирових основах спредів або інших жирових сумішах.

Таким чином, для вирішення багатьох виробничих задач, пов'язаних з технохімічним контролем початкової сировини жиропереробного виробництва, а також для запобігання фальсифікації молочного жиру потрібно залучати сучасні методи ідентифікації олій та жирів за схемою, представленою на рис. 4.

Необхідність запровадження сучасних методів ідентифікації олій та жирів з використанням хроматографічних методик дослідження не обмежується тільки виробництвом спредів, які мають комбіновану жирову основу.

Так, одним з напрямків технології модифікованих жирів є технологія купажованих олій, збалансованих за співвідношенням w-6/w-3 поліненасичених жирних кислот. Технохімічний контроль виробництва та якості купажованих олій здійснюється за допомогою комп'ютерних

програм, які забезпечують постійний контроль жирнокислотного складу початкових олій та одержаних купажів. З огляду на викладене вище, контролю аутентичності олій та жирів тільки за жирнокислотним складом недостатньо.

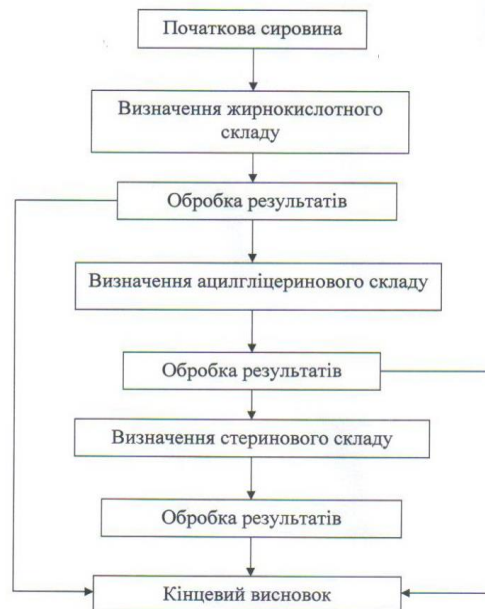


Рис. 4 – Схема ідентифікації олій та жирів у технохімічному контролі початкової сировини жиропереробного виробництва

Іншим прикладом необхідності перегляду схем технохімічного контролю є виробництво

замінників, поліпшувачів, сурогатів та еквівалентів какао-масла. Технологічні схеми зазначених продуктів є складними, тому що поєднують декілька способів модифікації початкової жирової сировини, від справжності якої залежить якість кінцевого продукту.

Такого ж комплексного підходу до технохімічного контролю початкової сировини потребує виробництво жирів кулінарних, хлібопекарських, для молочної промисловості і особливо кондитерських, які мають цілеспрямовану дію і вузький діапазон фізичних характеристик окремих марок (температур плавлення і твердості), які, в свою чергу, залежать від присутності домішок сторонніх жирів.

Застосування комплексу аналітичних методів для встановлення аутентичності олійно-жирової сировини та оліежировмісних продуктів дозволить також вирішувати такі

технологічні задачі, як визначення домішок соняшникової олії у маслиновій, наявність замінників та еквівалентів какао-масла в шоколаді і т. ін.

Таким чином, результати даного дослідження будуть використані фахівцями олієжирової галузі та суміжних галузей харчової промисловості під час створення сучасних схем технохімконтролю відповідних виробництв.

### Висновки

Розроблено метод комплексного підходу до ідентифікації молочного жиру, який включає аналіз жирнокислотного складу, ацилгліцеринового складу та складу стеринової фракції. Для виявлення фальсифікації молочного жиру за даними ацилгліцеринового складу визначено межі визначення чужорідних жирів, які складають від 2-10 %.

За даними ацилгліцеринового складу модельних сумішей молочного жиру з пальмовою олією (натуральною та гідрованою) розроблено розрахунковий метод, який дозволяє визначити вміст пальмової олії у жирових основах спредів та інших жирових сумішах.

Сформульовано практичні рекомендації щодо необхідності перегляду схем технохімічного контролю у виробництві спредів, маргаринів, купажованих рослинних олій, кондитерських, кулінарних, хлібопекарських та для молочної промисловості жирів із залученням сучасних методів ідентифікації олій та жирів з використанням хроматографічних методик дослідження.

### Список літератури

- 1 **Паронян, В. Х.** Аналитический контроль и оценка качества масложировой продукции / **В. Х. Паронян, Н. М. Скрябина.** – М.: ДеЛипринт, 2007. – 312 с.
- 2 Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. – Л.: ВНИИЖ, 1971. – Т. VI. – Вип. 1. – 166 с.
- 3 **Wood, Sh.** Trans Fat Content in Blood Linked to CHD Risk / **Shelley Wood** // *Medscape Medical News.* – 2007. – P. 100–115.
- 4 **Lemaitre R.N.** Cell Membrane Trans-Fatty Acids and the Risk of Primary Cardiac Arrest / **R. N. Lemaitre, I. B. King, T. E. Raghunathan** // *American Heart Association. Circulation.* – 2002. – № 105. – P. 697–701.

- 5 Dietary Guidelines for Americans 2005. US Department of Agriculture and US Department of Health and Human Services [Electronic resource]. – Available from: <http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2005/document/pdf/DGA2005.pdf>, accessed 14.01.2007.
- 6 **Рожнов, М. С.** Методы и подходы к идентификации пищевых продуктов / **М. С. Рожнов, Д. Н. Мельник, В. А. Голодняк, И. Н. Демидов** // *Масложировой комплекс*, 2013. – № 4 (43). – С. 43–46.
- 7 **Попова, Н. В.** Система ХАССР применительно к пищевым производствам / **Н. В. Попова** // *Масла и жиры*, 2008. – № 12. – С. 12–13.
- 8 **Проданчук, Г. Н.** Установление фальсификации жиров растительного и животного происхождения современными методами аналитической химии / **Г. Н. Проданчук, С. А. Сенин, А. П. Василенко и др.** // *Масложировой комплекс*, 2009. – № 4 (27). – С. 46–49.
- 9 **Chmilenko, F. A.** Complex chromatographic determination of the adulteration of dairy products: A new approach // **F. A. Chmilenko, N. P. Minaeva, L. P. Sidorova** / *Journal of Analytical Chemistry*, 2011. – Volume 66, Issue 7. – P. 572–581.
- 10 **Макарчук, Т. Л.** Проблемы качества и безопасности новых масложировых продуктов / **Т. Л. Макарчук, А. Е. Подрушняк, А. В. Коваль** // *Проблеми харчування*, 2003. – № 1. – С. 44–46.
- 11 **Осейко, М.** Олії та жири: склад, методи одержання, якість / **М. Осейко, А. Українець, С. Усатюк та ін.** // *Харчова і переробна промисловість*, 2004. – № 5. – С. 17–19.
- 12 **Иванкин, А. Н.** О качестве растительных и животных жиров / **А. Н. Иванкин, И. М. Чернуха, Т. Г. Кузнецова** // *Масложировая промышленность*, 2007. – № 2. – С. 8–11.
- 13 **Гладкий, Ф. Ф.** Технологія модифікованих жирів / **Ф. Ф. Гладкий, В. К. Тимченко, І. М. Демидов та ін.** – Х.: Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 214 с.
- 14 Жири та олії тваринні. Аналізування методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот: ДСТУ ISO 5508:2001 [Текст] / Чинний від 2003-01-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 15 с.
- 15 Масла растительные и маргариновая продукция. Метод обнаружения фальсификации ГОСТ 30623-98. – [Введен с 2000-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
- 16 Жир молочный. Виявлення рослинного жиру методом газорідної хроматографії стеринів (контрольний метод): ДСТУ ISO 3594:2001 [Текст] / Чинний від 2009-01-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с.
- 17 Жири та олії тваринні і рослинні. Визначення складу стеринової фракції. Газохроматографічний метод: ДСТУ ISO 6799:2002 [Текст] / Чинний від 2003-04-01. – Київ: Державний комітет з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. – 8 с.
- 18 Жир молочный. Метод обнаружения растительных жиров газожидкостной

- хроматографією стеринів ГОСТ Р 51471-99. – [Введен с 2001-01-01]. – М.: Росстандарт России, 2001. – 5 с.
- 19 **Рудаков, О. Б.** Качественная идентификация молочного жира по хроматографическим данным / **О. Б. Рудаков, К. К. Полянский, М. П. Алексюк** // *Журнал аналитической химии*, 2002. – Т. 57. – № 12. – С. 1267–1275.
- 20 **Vetter, W.** Differentiation of refined and virgin edible oils by means of the trans- and cis-phytol isomer distribution // **W. Vetter, Markus Schröder and Katja Lehnert** / *J. Agric. Food Chem.*, 2012. – Volume 60 (24). – P. 6103–6107.
- 21 **Lipp, M.** Review of methods for the analysis of triglycerides in milk fat: application for studies of milk quality and adulteration // **M. Lipp** // *Food Chemistry*, 1995. – Volume 54, Issue 2. – P. 213–221.
- 22 **Кіщенко, В. А.** Удосконалення методів контролю показників якості у технології природних та модифікованих жирів [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню канд. техн. наук : спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів» / **В. А. Кіщенко**. – Харків, 2011. – 19 с.
- References**
- 1 **Paronjan, V. H., Skrjabina, N. M.**, Analiticheskkii kontrol' i ocenka kachestva maslozhirovoi produkcii, M.: DeLiprint, 2007, 312.
- 2 Rukovodstvo po metodam issledovanija, tehnohimicheskomu kontrolyu i uchetu proizvodstva v maslozhirovoi promyshlennosti. – L.: VNIIZh, 1971, T. VI., Vip. 1., 166.
- 3 **Wood, Sh.** Trans Fat Content in Blood Linked to CHD Risk, *Medscape Medical News*, 2007, 100–115.
- 4 **Lemaitre, R. N., King, I. B., Raghunathan T. E.**, Cell Membrane Trans-Fatty Acids and the Risk of Primary Cardiac Arrest, *American Heart Association. Circulation*, 2002, 105, 697–701.
- 5 Dietary Guidelines for Americans 2005. US Department of Agriculture and US Department of Health and Human Services [Electronic resource]. – Available from: <http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2005/document/pdf/DGA2005.pdf>, accessed 14.01.2007.
- 6 **Rozhnov, M. S., Melnik, D. N., Golodnjak, V. A., Demidov, I. N.** Metody i podhody k identifikacii pishevyyh produktov, *Maslozhirovoi kompleks*, 2013, 4 (43), 43–46.
- 7 **Popova, N. V.** Sistema HASSR primenitelno k pishevym proizvodstvam, *Masla i zhiry*, 2008, 12, 12–13.
- 8 **Prodanchuk, G. N., Senin, S. A., Vasilenko, A. P. i dr.** Ustanovlenie falsifikacii zhirov rastitelnogo i zhivotnogo proishozhdenija sovremennymi metodami analiticheskoi himii, *Maslozhirovoi kompleks*, 2009, 4 (27), 46–49.
- 9 **Chmilenko, F. A., Minaeva, N. P., Sidorova, L. P.** Complex chromatographic determination of the adulteration of dairy products: A new approach, *Journal of Analytical Chemistry*, 2011, 66, 7, 572–581.
- 10 **Makarchuk, T. L., Podrushnjak, A. E., Koval, A. V.** Problemy kachestva i bezopasnosti novyyh maslozhirovyyh produktov, *Problemi harchuvannja*, 2003, 1, 44–46.
- 11 **Oseiko, M., Ukraïnets, A., Usatyuk, S. ta in.** Olii ta zhiri: sklad, metodi oderzhannja, jakist, *Harchova i pererobna promislovist*, 2004, 5, 17–19.
- 12 **Ivankin, A. N., Chernuha, I. M., Kuznecova, T. G.** O kachestve rastitelnykh i zhivotnyh zhirov, *Maslozhirovaja promyshlennost*, 2007, 2, 8–11.
- 13 **Gladkii, F. F., Timchenko, V. K., Demidov, I. M. ta in.** Tehnologija modifikovanih zhiriv, Kh. : Pidruchnik NTU «KhPb», 2014, 214.
- 14 Zhiri ta olii tvarinni. Analizuvannja metodom gazovoik hromatografii metilovih efiriv zhirnih kislot: DSTU ISO 5508:2001, Chinnii vid 2003-01-01, Kiiv: Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2003, 15.
- 15 Masla rastitel'nye i margarinovaja produkcija. Metod obnaruzhenija falsifikacii GOST 30623-98, [Vveden s 2000-01-01], M.: Standartinform, 2010, 16.
- 16 Zhir molochnii. Vijavlennja roslinnogo zhiru metodom gazoridinoi khromatografii steriniv (kontrol'nii metod), DSTU ISO 3594:2001, Chinnii vid 2009-01-01, Kiiv: Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2009, 11.
- 17 Zhiri ta olii tvarinni i roslinni. Vznachennja skladu sterinovoï frakcii. Gazohromatografichnii metod: DSTU ISO 6799:2002, Chinnii vid 2003-04-01, Kiiv: Derzhavnii komitet z pitan tehničnogo reguljuvannja ta spozhivchoï politiki, 2003, 8.
- 18 Zhir molochnyi. Metod obnaruzhenija rastitelnyh zhirov gazozhidkostnoi hromatografiei sterinov GOST R 51471-99, [Vveden s 2001-01-01], M.: Rosstandart Rossii, 2001, 5.
- 19 **Rudakov, O. B., Poljanskii, K. K., Aleksyuk, M. P.** Kachestvennaja identifikacija molochnogo zhira po hromatograficheskim dannjam // *Zhurnal analiticheskoi himii*, 2002, 57, 12, 1267–1275.
- 20 **Vetter, W., Schröder, M. Lehnert, K.** Differentiation of refined and virgin edible oils by means of the trans- and cis-phytol isomer distribution, *J. Agric. Food Chem.*, 2012, 60 (24), 6103–6107.
- 21 **Lipp, M.** Review of methods for the analysis of triglycerides in milk fat: application for studies of milk quality and adulteration, *Food Chemistry*, 1995, 54, 2, 213–221.
- 22 **Kishenko, V. A.** Udoskonalennja metodiv kontrolyu pokaznikov jakosti u tehnologii prirodnih ta modifikovanih zhiriv : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenyu kand. tehn. nauk : spec. 05.18.06 «Tehnologija zhiriv, efirmih masel i parfumerno-kosmetichnih produktiv», Kharkiv, 2011, 19.

Надійшла (received) 18.12.2014

УДК 664.31:582.998.2

## ОСОБЕННОСТИ ОБРУШИВАНИЯ ГИБРИДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЗАМОРОЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

С. А. ТЕСЛЕНКО<sup>1\*</sup>, Е. П. ВРЮКАЛО<sup>1</sup>, Л. И. ПЕРЕВАЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

\*email: Teslenko-Serega@mail.ru

**АННОТАЦИЯ** У статті досліджені фізико-механічні властивості високоолійних гібридів соняшнику та розглянуто вплив попередньої підготовки насіння соняшнику до обривування на особливості їх обривування, кількісні та якісні показники процесу. Встановлений позитивний ефект застосування попереднього штучного охолодження на процес обривування. Виявлено вплив технологічних параметрів процесу на обривування насіння високо олійних гібридів соняшнику. Знайдено умови, що дозволяють отримати високий ступінь обривування, 90% та більше, для будь-яких гібридів соняшнику.

**Ключевые слова:** гібрид, насіння соняшнику, охолодження, обривування, ступінь обривування

**АННОТАЦИЯ** В статье исследованы физико-механические свойства высокомасличных гибридов подсолнечника и рассмотрено влияние предварительной подготовки семян подсолнечника к обрушиванию на особенности их обрушивания, количественные и качественные показатели процесса. Установлен положительный эффект применения предварительного искусственного охлаждения на процесс обрушивания. Определено влияние технологических параметров процесса на обрушивание высокомасличных гибридов подсолнечника. Найдены условия, которые позволяют получить высокую степень обрушивания, 90% и более, для любых гибридов подсолнечника

**Ключевые слова:** гибрид, семена подсолнечника, охлаждение, обрушивание, степень обрушивания

## THE PECULARITIES OF DEHULLING SUNFLOWER HYBRIDS' SEEDS IN THE FROZEN STATE

S. TESLENKO<sup>1\*</sup>, K. VRIUKALO<sup>1</sup>, L. PEREVALOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NTU «KhPI», Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** The processing of sunflower is actively building momentum. The aim of research became the comparison of the phisico-mechanical characteristics of the sunflower hybrids and defining their dehulling ability under different technological conditions within the framework of the dehulling technology with the use of cooling. Four sunflower hybrids were researched by us. For them were conducted the analyses defining geometrical sages, the hardness oh hull, were defined the coefficients of dehulling and preservation of kernel and the degree of dehulling ability. The comparison and the analysis of the findings let us draw conclusions about the reduction of the impact of phisico-mechanical characteristics of the hybrids sunflower seeds during its dehulling in terms of the improved technology with the use of cooling, and also practicability of using this technology for obtaining kernel without hull. A comparison was made in the classic indicators falling in technology and in terms of improved technology using artificial cooling exponent dehulling grew on average by 20% compared to falling in on the classical technology. It was found that the main factor affecting the quality and quantity of falling in, in terms of improved technology performs temperature: at lower growth observed in the degree of falling in comparison with indicators of classic technology is not dependent on other properties and characteristics of the seed process. In this case, the variation of moisture content of seeds and the number of revolutions of the rotor produces predictable performance and safety coefficients falling.

**Keywords:** hybrid sunflower seeds, cooling, dehulling, the degree of dehulling

### Введение

В настоящее время маслособывающий комплекс Украины обновляет и увеличивает свой производственный потенциал. Так, по данным на 01.06.2014 г. суммарные производственные мощности по различным масличным культурам достигает 8,7 млн тонн.

92% этого объема составила переработка подсолнечника. Данный показатель свидетельствует о востребованности подсолнечника и, соответственно, продуктов его переработки – масла, жмыха и шрота в Украине и на мировом рынке.

Таблиця 1 – Характеристики досліджуваних гібридів підсо­л­неч­ника

Назва гібрида підсо­л­неч­ника	Характеристика				
	Вегетаційний період, сут	Лужкість, %	1000 штук	Масли­стість, % на а.с.в.	Урожай­ність, ц/га
NK Delfi	108-115	20-25	65-75	50,0-50,9	37,8
NK Brio	112-116	22-24	68-70	48,0-51,3	38,4
Ягуар F1	95-102	21-22	62-65	50,0-52,0	41,2
Український F1	105-108	20-23	50-60	49,6-51,8	38,0

В зв'язі з цим, проводяться активні розробки в області селекції його нових сортів і гібридів для підвищення урожайності, масли­стості, стійкості до хвороб і посухи.

При цьому в нових селекційних сортах і гібридах частково змінюються фізико-механічні, фізико-хімічні і технологічні властивості, які мають безпосереднє вплив на умови переробки підсо­л­неч­ника, як масличного сировини, в тому числі на його обрушування.

Зміни вищеперелічених властивостей підсо­л­неч­ника може призвести до зниження ефективності вилучення масла, що суперечить завданням, які сьогодні ставить перед собою маслодобувальна промисловість, а саме – збільшення виходу масла, зменшення відходів і втрат, а також себестоимости продукції.

### Цель работы

Ціллю нашої роботи стало порівняння фізико-механічних властивостей гібридів підсо­л­неч­ника і визначення їх обрушуваності при різних техно­логічних умовах в межах удоскона­леної технології обрушування підсо­л­неч­ника з використанням штучного охолодження.

### Изложение основного материала

Для аналізу фізико-механічних властивостей і їх порівняння в лабораторних умовах були вибрані чотири гібриди підсо­л­неч­ника:

- NK Delfi (Швейцарія);
- NK Brio (Швейцарія);
- Ягуар F1 (Франція);
- Український F1 (Україна).

Характеристики, вказані в паспортах досліджуваних гібридів, наведені в таблиці 1.

Для детального розгляду нами були вибрані такі фізико-хімічні властивості

як габаритні розміри насіння, товщина оболонки, товщина повітряної прослойки між оболонкою і ядром, а також міцність оболонки.

При проведенні аналітичних досліджень основні фізико-механічні властивості визначалися відповідно до керівництвом по методах дослідження і технологічному контролю і врахування виробництва і врахування виробництва в масло­жирової промисловості [1, 2, 3].

Результати визначення геометричних розмірів насіння підсо­л­неч­ника представлені в вигляді варіаційних кривих на рисунках 1-3.

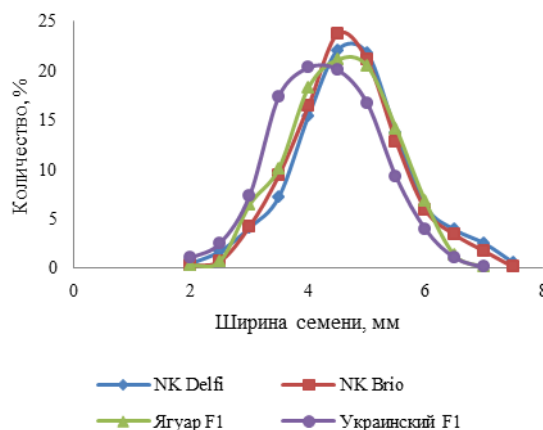


Рис. 1 – Варіаційні криві розмірів насіння підсо­л­неч­ника за шириною



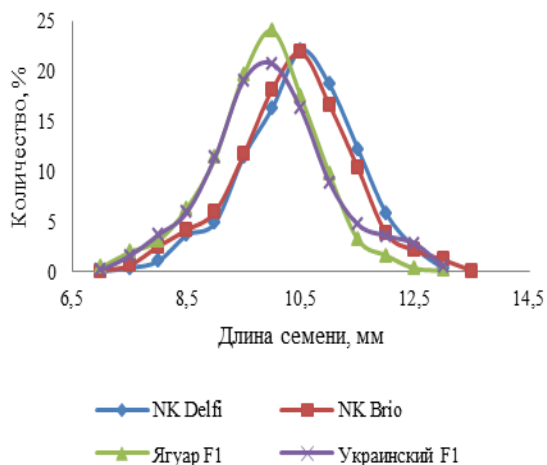


Рис. 2 – Вариационные кривые размеров семян подсолнечника по длине

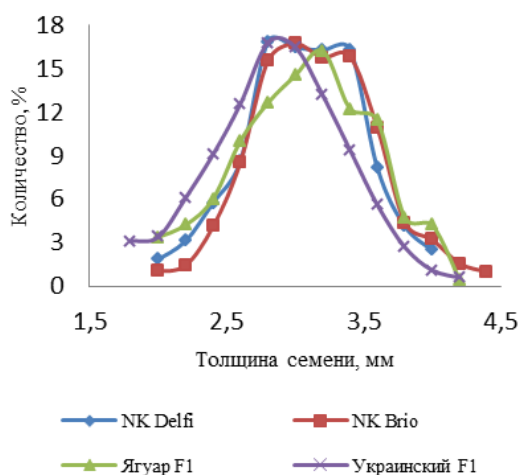


Рис. 3 – Вариационные кривые размеров семян подсолнечника по толщине

Исследование образцов данных гибридов показало, что геометрические размеры семян подсолнечника не имеют существенных различий по длине и ширине. А вот по толщине семена гибридов NK Delfi, NK Brio, Ягуар F1 имеют равное распределение частоты появления семян одного размера. Распределение такого рода благоприятно влияет на очистку семенной массы от сорной и маслянистой примеси перед поступлением подсолнечника на производство.

Одним из направлений селекции гибридов подсолнечника последние годы является увеличение его маслянистости. И если ранее решение этой задачи пытались найти

путем уменьшения лузжистости семени, то с недавнего времени большее предпочтение отдают непосредственному увеличению маслянистости ядра.

Таким образом, лузжистость современных гибридов подсолнечника установилась на уровне 20-25%, что говорит о ее снижении по сравнению с данной характеристикой ранее использованных в производстве семян, которая сохранялась на уровне 25-30%.

Кроме определения геометрических размеров, были проведены исследования для определения толщины воздушной прослойки, отделяющей морфологические части семени подсолнечника, а именно лузгу и ядро. Полученные результаты представлены в таблице 2. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что у гибридов Украинский F1, NK Brio воздушная прослойка крайне тонка, а у гибридов Ягуар F1, NK Delfi и вовсе отсутствует.

Уменьшение, и тем более отсутствие, воздушной прослойки значительно ухудшает способность семян к обрушиванию. Это приводит к увеличению количества лузги, трудно отделимой от ядра при обрушивании. Это влечет за собой вынос лузги в ядро, а значит и в продукты его переработки – жмых и шрот; ухудшение их качественных показателей.

Кроме уменьшения воздушной прослойки на способность качественно обрушиваться влияют и другие факторы. К ним относится, в первую очередь, механическая прочность семени.

Механическая прочность семян, в свою очередь, зависит от двух факторов – это особенности анатомического строения и устойчивость морфологических частей к механическому воздействию.

Для определения механической прочности семян исследуемых гибридов подсолнечника был использован прибор ПМС-1. Результаты проведенных опытов приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что наибольшую прочность имеют семена зарубежной селекции Ягуар F1, NK Delfi, NK Brio. Прочность семян отечественного гибрида Украинский F1 на 25 – 30% ниже, чем у зарубежных. С одной стороны это благоприятно влияет на процесс обрушивания, с другой стороны ухудшается сохранность семян при транспортировке, загрузке на хранение, хранение и т.д.

Таблица 2 – Механическая прочность исследуемых гибридов подсолнечника при влажности 6,0%, кг

Название гибрида подсолнечника	Усредненная толщина воздушной прослойки, мм	Толщина оболочки, мм	Направление действия силы		
			по длине	по ширине	по толщине
NK Delfi	$3 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,43 \pm 0,013$	5,1	9,29	12,4
NK Brio	$6 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \pm 0,015$	4,8	8,42	10,3
Ягуар F1	$2 \pm 0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,46 \pm 0,012$	5,2	10,9	13,6
Украинский F1	$7 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,38 \pm 0,011$	3,6	3,9	5,2

Прочность семян подсолнечника зависит от ряда факторов, которые определяют их морфологическое строение (место произрастания, расположение в корзинке и т.д.).

Исходя из проведенных выше исследований, геометрический размер семян и толщина оболочки не оказывают заметного влияния на прочность. Это подтверждается данными [4–6].

### Обсуждение результатов

Следующим шагом исследований было определение количественных и качественных показателей процесса обрушивания семян данных гибридов подсолнечника.

Стадия обрушивания является базовой перед извлечением масла [7–11].

От того насколько полным будет проведено обрушивание, будет зависеть выбор использования полученного ядра:

- для последующей переработки с выделением масла и получением кормовых жмыха и шрота;

- для последующей переработки с выделением масла и получением пищевых жмыха и шрота;

- для кондитерского производства в качестве заменителя орехов фундука, миндаля, кешью и др. при производстве печенья, конфет, карамели;

- для производства халвы, козинаков, добавок к хлебобулочным изделиям и т.д..

Для определения влияния физико-механических свойств семян подсолнечника на их обрушивание нами была выбрана усовершенствованная технология обрушивания семян подсолнечника с использованием охлаждения, разработанная на кафедре ТЖ и ПБ [12–15].

Согласно используемой технологии, семена гибридов подсолнечника были предварительно кондиционированы по размерам и влажности, охлаждены до отрицательных температур и обрушены при температуре, до которой охлаждались. Для сравнения были обрушены семена гибридов подсолнечника без охлаждения по классической технологии [16, 17]. Обрушивание проводили однократным, направленным вдоль длинной оси семени ударом, на действующей модели центробежной семенорушки – 2Ихно [18].

Для проведения исследований была выбрана средняя фракция семян, размером 3,2–3,4 мм по толщине с начальными характеристиками:

- влажность семян 6,0 %;
- влажность ядра 3,7–3,9 %;
- влажность лузги 9,6–9,8 %;
- лузжистость семян 26–30 %.

Технологическими параметрами усовершенствованной технологии обрушивания, которые изменялись в ходе работы, были обороты ротора семенорушки, влажность семян перед обрушиванием, температура семян при обрушивании.

В таблицах 3 и 4 представлены результаты обрушивания гибрида семян подсолнечника NK Delfi в зависимости от температуры предварительного охлаждения с учетом различной влажности семян.

Таблиця 3 – Влияние температуры предварительного охлаждения семян подсолнечника разной влажности на состав рушанки, полученной при количестве оборотов ротора семенорушки – 20,00 ÷ 26,67с<sup>-1</sup>

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, с	Температура семян перед обрушиванием, °С	Состав рушанки, %						
			Ядро целое	Ядро дробленое	Целые семена	Недообрушенные семена	Сечка	Лузга	Масляная пыль
6	20,00	10	28,53	10,45	22,1	16,65	3,22	15,26	3,79
		-10	40,92	7,59	15,07	15,06	1,66	16,62	3,08
		-30	42,08	8,35	11,95	16,66	1,23	17,31	2,42
		-50	37,8	5,99	17,97	17,88	2,37	16,01	1,98
		-70	43,97	9,57	9,93	6,32	5,84	20,75	3,62
		-196	15,19	34,61	0	0	20,7	21,9	7,6
	23,33	10	34,2	13,14	7,536	13,524	4,59	18,71	8,3
		-10	40,76	11,61	6,52	14,33	2,86	18,5	5,42
		-30	43,79	12,39	4,91	13,31	2,05	19,1	4,45
		-50	41,07	15,86	4,63	11,53	3,48	20,16	3,27
		-70	36,73	14,39	2,17	14,98	6,12	21,43	4,18
		-196	11,05	35,3	0	0,94	21,89	22,36	8,46
	26,67	10	26,87	19,61	2,98	9,54	7,06	20,08	13,86
		-10	42,09	11,79	1,33	13,73	3,96	19,14	7,96
		-30	48,64	13,45	1,4	7,75	3,06	20,04	5,66
		-50	43,95	16,22	1,25	6,15	5,24	21,36	5,83
		-70	37,33	19,1	1,21	5,84	6,15	22,83	7,54
		-196	8,98	32,82	0	0,49	23,71	24,82	9,18
1	20,00	10	24,17	20,6	6,31	17,24	6,72	20,84	4,12
		-10	29,14	16,99	6,07	15,48	5,81	21,54	4,97
		-30	34,59	13,39	5,36	12,28	6,08	22,67	5,63
		-50	28,25	21,39	4,56	10,07	6,37	23,08	6,28
		-70	25,68	26,26	3,89	7,34	6,9	23,41	6,52
		-196	8,01	36,67	0	0,85	21,98	23,17	9,32
	23,33	10	19,81	26,53	5,81	10,65	6,92	21,04	9,24
		-10	36,87	13,06	4,96	11,1	6,54	22,17	5,3
		-30	35,44	16,4	4,28	7,96	7,13	22,85	5,94
		-50	27,82	24,55	3,85	5,53	7,35	23,34	7,56
		-70	29,13	24,05	3,12	3,86	7,84	23,83	8,17
		-196	4,82	34,02	0	1,41	22,45	25,36	11,94
	26,67	10	18,66	31,57	4,92	8,53	6,94	21,95	7,43
		-10	21,83	32,77	3,99	6,45	7,06	22,54	5,36
		-30	33,85	19,74	3,44	6,07	7,41	23,37	6,12
		-50	25,19	25,41	2,97	5,31	8,37	24,01	8,74
		-70	20,21	27,86	2,56	4,9	9,17	24,38	10,92
		-196	3,12	31,14	0	0	24,52	26,44	14,78

Таблиця 4 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на эффективность обрушивания при количестве оборотов ротора семенорушки –  $20,00 \div 26,67 \text{с}^{-1}$ 

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, $\text{с}^{-1}$	Температура семян перед обрушиванием, $^{\circ}\text{C}$	Коэффициент обрушивания	Коэффициент сохранности ядра	Степень обрушивания, %
6	20,00	10	0,64	0,91	61,25
		-10	0,72	0,99	69,87
		-30	0,74	0,99	71,39
		-50	0,67	0,98	64,15
		-70	0,84	0,91	83,75
		-196	0,98	0,71	100
	23,33	10	0,80	0,86	78,94
		-10	0,81	0,95	79,15
		-30	0,83	0,98	81,78
		-50	0,85	0,97	83,84
		-70	0,85	0,88	82,85
		-196	0,98	0,67	99,06
	26,67	10	0,87	0,76	87,48
		-10	0,86	0,91	84,94
		-30	0,91	0,98	90,85
		-50	0,93	0,93	92,6
		-70	0,93	0,87	92,95
		-196	0,98	0,60	99,51
1	20,00	10	0,79	0,84	76,45
		-10	0,80	0,84	78,45
		-30	0,84	0,83	82,36
		-50	0,86	0,83	85,37
		-70	0,89	0,84	88,77
		-196	0,97	0,64	99,15
	23,33	10	0,84	0,79	83,54
		-10	0,85	0,85	83,94
		-30	0,88	0,84	87,76
		-50	0,90	0,83	90,62
		-70	0,92	0,82	93,02
		-196	0,96	0,56	98,59
	26,67	10	0,87	0,83	86,55
		-10	0,90	0,87	89,56
		-30	0,90	0,85	90,49
		-50	0,91	0,79	91,72
		-70	0,91	0,74	92,54
		-196	0,97	0,49	100

Из таблиц 3 и 4 видно, что использование охлаждения семян гибрида подсолнечника НК Delfi перед обрушиванием позволяет получить высокие степени обрушивания – до 98 % и более в сравнении с обрушиванием по классической технологии без охлаждения (плюс 10 °С), при этом получить высокие

показатели по сохранности ядра, что важно при производстве кондитерских изделий.

В таблицах 5 и 6 представлены результаты обрушивания гибрида семян подсолнечника НК Вгіо в зависимости от температуры предварительного охлаждения с учетом различной влажности семян.

Таблица 5 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на состав рушанки, полученной при количестве оборотов ротора семенорушки – 20,00 ÷ 26,67с<sup>-1</sup>

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, с <sup>-1</sup>	Температура семян перед обрушиванием, °С	Состав рушанки, %						
			Ядро целое	Ядро дробленое	Целые семена	Недообрушенные семена	Сечка	Лузга	Масличная пыль
6	20,00	10	27,66	9,64	21,83	16,96	4,32	15,41	4,18
		-10	34,64	7,13	17,41	17,05	3,98	16,04	3,75
		-30	41,83	3,12	14,84	16,12	3,72	16,96	3,41
		-50	38,74	9,43	12,07	12,53	5,14	17,91	4,18
		-70	38,11	10,61	9,28	9,49	7,47	19,08	5,96
		-196	12,46	31,81	4,06	6,11	17,48	19,74	8,34
	23,33	10	29,92	11,95	12,47	15,18	5,21	17,34	7,93
		-10	36,83	10,24	8,15	16,37	4,93	18,47	5,01
		-30	42,94	11,38	4,71	12,05	4,75	19,81	4,36
		-50	40,14	17,92	3,05	5,99	5,93	21,06	5,91
		-70	39,59	19,11	1,54	3,43	7,64	22,1	6,59
		-196	7,93	35,92	1,44	3,94	18,92	22,4	9,45
	26,67	10	19,90	20,58	7,96	10,77	8,95	20,43	11,41
		-10	32,11	13,41	7,02	9,85	7,56	20,84	9,21
		-30	35,14	14,47	5,38	9,04	7,47	21,06	7,44
		-50	33,16	17,14	4,21	7,92	8,07	21,67	7,83
		-70	30,01	21,52	3,06	5,31	9,19	22,79	8,12
		-196	8,32	35,58	1,27	2,19	19,42	23,59	9,63
1	20,00	10	20,75	25,10	8,48	13,95	7,41	18,03	6,28
		-10	30,26	22,75	7,27	8,53	5,11	19,24	6,84
		-30	41,02	21,19	4,09	3,27	3,27	19,68	7,48
		-50	29,84	30,39	3,85	3,06	4,83	20,34	7,69
		-70	24,26	33,50	3,12	2,98	7,18	20,95	8,01
		-196	4,91	40,27	2,27	2,43	18,24	21,45	10,43
	23,33	10	17,09	31,41	5,34	9,43	7,93	20,95	7,85
		-10	35,13	17,44	4,48	6,86	7,41	21,57	7,11
		-30	33,95	21,95	4,01	4,12	6,58	22,04	7,35
		-50	24,89	28,56	3,53	4,01	7,96	23,11	7,94
		-70	25,17	28,19	2,16	3,85	8,55	23,86	8,22
		-196	3,54	39,99	1,09	1,34	19,05	24,05	10,94
	26,67	10	14,29	34,18	4,18	6,93	8,51	24,08	7,83
		-10	19,38	37,36	1,91	3,22	6,28	24,93	6,92
		-30	35,54	27,60	0,08	1,47	4,42	25,4	5,49
		-50	23,63	33,55	0,06	1,32	7,83	25,44	8,17
		-70	17,46	35,03	0,04	0,96	10,42	25,68	10,41
		-196	4,25	45,54	0	0,6	13,61	24,11	11,89

Таблиця 6 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на эффективность обрушивания при количестве оборотов ротора семенорушки –  $20,00 \div 26,67 \text{ с}^{-1}$ 

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, $\text{с}^{-1}$	Температура семян перед обрушиванием, $^{\circ}\text{C}$	Коэффициент обрушивания	Коэффициент сохранности ядра	Степень обрушивания, %
6	20,00	10	0,64	0,86	61,21
		-10	0,69	0,90	65,54
		-30	0,72	0,92	69,04
		-50	0,78	0,90	75,4
		-70	0,83	0,84	81,23
		-196	0,91	0,69	89,83
	23,33	10	0,75	0,82	72,35
		-10	0,78	0,88	75,48
		-30	0,85	0,92	83,24
		-50	0,92	0,90	90,96
		-70	0,96	0,87	95,03
		-196	0,95	0,65	94,62
	26,67	10	0,83	0,70	81,27
		-10	0,85	0,77	83,13
		-30	0,87	0,82	85,58
		-50	0,89	0,81	87,87
		-70	0,92	0,79	91,63
		-196	0,97	0,64	96,54
1	20,00	10	0,80	0,83	77,57
		-10	0,86	0,89	84,2
		-30	0,93	0,95	92,64
		-50	0,94	0,91	93,09
		-70	0,94	0,87	93,9
		-196	0,96	0,67	95,3
	23,33	10	0,87	0,80	85,23
		-10	0,90	0,84	88,66
		-30	0,93	0,86	91,87
		-50	0,93	0,81	92,46
		-70	0,95	0,80	93,99
		-196	0,98	0,63	97,57
	26,67	10	0,90	0,77	88,89
		-10	0,95	0,84	94,87
		-30	0,99	0,90	98,45
		-50	0,99	0,82	98,62
		-70	0,99	0,75	99
		-196	0,99	0,71	99,4

Из таблиц 5 и 6 видно, что использование искусственного охлаждения семян гибрида подсолнечника NK Вгіо перед обрушиванием позволяет получить высокие степени обрушивания – 89% и более в сравнении с обрушиванием по классической технологии без охлаждения (плюс 10°C), при этом получить высокие показатели по сохранности

ядра, что важно при производстве кондитерских изделий.

В таблицах 7 и 8 представлены результаты обрушивания гибрида семян подсолнечника Ягуар F1 в зависимости от температуры предварительного охлаждения с учетом различной влажности семян.

Таблица 7 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на состав рушанки, полученной при количестве оборотов ротора семенорушки – 20,00 ÷ 26,67с<sup>-1</sup>

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, с <sup>-1</sup>	Температура семян перед обрушиванием, °С	Состав рушанки, %						
			Ядро целое	Ядро дробленое	Целые семена	Недообрушенные семена	Сечка	Лузга	Масличная пыль
6	20,00	10	19,07	6,64	30,32	29,65	1,28	10,22	2,88
		-10	33,9	4,92	18,6	23,78	1,56	14,58	2,66
		-30	33,6	5,35	15,19	27,56	1,36	14,15	2,79
		-50	43,28	9,55	9,09	16,66	1,67	17,19	4,56
		-70	46,9	12,76	5,06	8,17	3,34	19,59	4,18
		-196	17,36	35,5	1,52	0,25	15,86	22,29	7,22
	23,33	10	19,37	7,57	29,61	26,12	2,4	11,74	3,19
		-10	31,62	7,69	17,33	22,48	2,61	15,31	2,96
		-30	33,41	7,77	16,85	20,94	2,74	15,46	2,83
		-50	41,11	12,6	4,86	15,41	3,03	18,24	4,75
		-70	44,34	15,44	4,45	6,95	3,92	20,61	4,29
		-196	13,47	36,52	1,43	0,76	16,21	23,18	8,43
	26,67	10	16,27	11,87	27,11	25,78	3,17	12,56	3,24
		-10	30,68	10,05	12,02	24,32	3,42	15,84	3,67
		-30	33,02	9,52	11,86	21,4	3,87	16,52	3,81
		-50	40,41	14,73	8,51	7,56	4,08	19,81	4,9
		-70	40,72	17,54	4,95	5,64	4,56	21,43	5,16
		-196	12,7	36,7	1,12	0,18	16,74	23,44	9,12
1	20,00	10	13,98	13,2	7,21	36,05	5,19	20,11	4,26
		-10	24,56	15,16	6,93	23,57	4,11	21,34	4,33
		-30	28,22	12,26	6,15	22,3	4,48	21,96	4,63
		-50	31,55	16,38	5,41	13,71	5,23	22,54	5,18
		-70	27,11	26,03	3,17	8,6	6,47	22,71	5,91
		-196	7,99	36,68	1,46	0,84	19,17	23,62	10,24
	23,33	10	12,07	15,84	5,36	34,61	5,83	22,12	4,17
		-10	26,62	13,81	5,21	22,11	4,71	22,83	4,71
		-30	27,73	13,52	4,93	20,64	5,21	22,95	5,02
		-50	25,21	22,94	4,56	12,54	5,94	23,07	5,74
		-70	28,73	28,59	3,06	2,77	6,81	23,11	6,93
		-196	5,15	37,54	1,21	0,57	20,35	23,87	11,31
	26,67	10	10,77	18,2	3,94	33,95	6,44	22,16	4,54
		-10	17,3	23,94	3,26	23,3	4,57	22,56	5,07
		-30	25,98	20,73	2,54	17,76	4,67	23,08	5,24
		-50	24,52	25,41	2,09	12,46	5,99	23,57	5,96
		-70	23,54	35,28	1,84	1,27	7,01	23,93	7,13
		-196	3,79	37,95	0,21	0,62	21,46	24,01	11,96

Таблица 8 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на эффективность обрушивания при количестве оборотов ротора семенорушки –  $20,00 \div 26,67 \text{с}^{-1}$ 

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, $\text{с}^{-1}$	Температура семян перед обрушиванием, $^{\circ}\text{C}$	Коэффициент обрушивания	Коэффициент сохранности ядра	Степень обрушивания, %
6	20,00	10	0,46	0,85	40,03
		-10	0,62	0,89	57,62
		-30	0,62	0,90	57,25
		-50	0,77	0,94	74,25
		-70	0,88	0,91	86,77
		-196	0,98	0,71	98,23
	23,33	10	0,49	0,81	44,27
		-10	0,64	0,87	60,19
		-30	0,66	0,88	62,21
		-50	0,83	0,89	79,73
		-70	0,90	0,89	88,6
		-196	0,98	0,68	97,81
	26,67	10	0,52	0,79	47,11
		-10	0,68	0,85	63,66
		-30	0,71	0,84	66,74
		-50	0,85	0,87	83,93
		-70	0,90	0,86	89,41
		-196	0,99	0,66	98,7
1	20,00	10	0,63	0,63	56,74
		-10	0,74	0,76	69,5
		-30	0,76	0,75	71,55
		-50	0,83	0,79	80,88
		-70	0,90	0,80	88,23
		-196	0,98	0,61	97,7
	23,33	10	0,67	0,62	60,03
		-10	0,77	0,74	72,68
		-30	0,78	0,73	74,43
		-50	0,85	0,77	82,9
		-70	0,95	0,81	94,17
		-196	0,98	0,58	98,22
	26,67	10	0,68	0,62	62,11
		-10	0,78	0,74	73,44
		-30	0,83	0,78	79,7
		-50	0,88	0,77	85,45
		-70	0,97	0,80	96,89
		-196	0,99	0,56	99,17

Из таблиц 7 и 8 видно, что использование искусственного охлаждения семян гибрида подсолнечника Ягуар F1 перед обрушиванием позволяет получить высокие степени обрушивания – 97 % и более в сравнении с обрушиванием по классической технологии без охлаждения (плюс  $10^{\circ}\text{C}$ ) – 40-63 %, при этом получить высокие показатели по

сохранности ядра, что важно при производстве кондитерских изделий.

В таблицах 9 и 10 представлены результаты обрушивания гибрида семян подсолнечника Украинский F1 в зависимости от температуры предварительного охлаждения с учетом различной влажности семян.



Таблица 9 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на состав рушанки, полученной при количестве оборотов ротора семенорушки –  $20,00 \div 26,67 \text{с}^{-1}$ 

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, $\text{с}^{-1}$	Температура семян перед обрушиванием, $^{\circ}\text{C}$	Состав рушанки, %						
			Ядро целое	Ядро дробленое	Целые семена	Недоброщенные семена	Сечка	Лузга	Масляная пыль
6	20,00	10	14,12	11,21	44,05	18,08	1,16	9,59	1,79
		-10	27,41	7,41	18,76	26,87	1,06	14,30	4,19
		-30	36,48	5,60	14,03	22,38	0,97	16,96	3,59
		-50	42,37	9,31	10,32	12,82	1,74	19,63	3,81
		-70	45,75	7,53	5,10	15,12	1,79	20,26	4,44
		-196	12,96	28,65	0,00	0,54	21,90	25,00	10,94
	23,33	10	25,38	8,06	5,47	36,56	2,19	14,91	7,42
		-10	27,82	5,80	6,01	34,94	2,03	16,71	6,69
		-30	42,25	8,88	2,57	17,38	1,31	21,06	6,55
		-50	43,28	14,44	3,16	9,34	2,83	21,35	5,61
		-70	43,47	17,21	1,89	2,58	4,72	22,92	7,21
		-196	8,01	28,39	0,31	0,00	25,41	23,63	14,26
	26,67	10	18,43	16,08	8,43	26,46	3,66	16,43	10,52
		-10	34,18	11,72	4,45	19,66	3,02	18,52	8,46
		-30	39,98	13,53	2,03	15,66	2,40	20,08	6,38
		-50	40,20	17,51	1,31	9,64	3,72	21,00	6,62
		-70	36,48	18,58	0,95	4,15	8,23	21,37	10,25
		-196	4,44	23,38	0,58	0,00	28,54	21,83	21,23
1	20,00	10	28,61	29,11	5,73	5,31	3,80	23,32	4,12
		-10	36,64	24,16	4,63	4,13	2,66	24,29	3,51
		-30	43,49	20,25	4,26	3,10	2,02	24,60	2,28
		-50	40,93	22,13	3,44	2,23	3,78	24,65	2,82
		-70	37,77	21,22	2,47	1,89	5,90	24,81	5,94
		-196	9,31	31,92	0,42	0,00	22,85	24,32	11,17
	23,33	10	20,69	31,39	3,18	1,04	7,41	24,89	11,41
		-10	46,37	16,67	1,14	2,68	2,48	23,79	6,88
		-30	41,88	23,51	1,31	2,18	2,52	23,82	4,79
		-50	30,91	32,09	0,63	0,87	6,25	24,55	4,70
		-70	31,34	30,62	2,50	1,11	5,64	24,31	4,49
		-196	0,00	33,00	0,22	0,00	29,25	25,28	12,25
	26,67	10	16,42	32,44	2,07	0,22	9,29	24,58	14,98
		-10	20,71	34,29	1,07	0,00	6,69	23,99	13,25
		-30	39,22	25,87	0,59	0,53	4,06	24,42	5,32
		-50	38,28	21,10	0,60	0,51	6,32	24,72	8,48
		-70	36,92	16,77	0,45	0,38	8,42	24,92	12,15
		-196	1,44	24,39	0,22	0,00	29,81	25,81	18,33

Таблиця 10 – Влияние температуры предварительной обработки семян подсолнечника разной влажности на эффективность обрушивания при количестве оборотов ротора семенорушки – 20,00 ÷ 26,67с<sup>-1</sup>

Влажность, %	Количество оборотов ротора семенорушки, с <sup>-1</sup>	Температура семян перед обрушиванием, °С	Коэффициент обрушивания	Коэффициент сохранности ядра	Степень обрушивания, %
6	20,00	10	0,41	0,89	37,87
		-10	0,59	0,90	54,37
		-30	0,68	0,93	63,59
		-50	0,79	0,94	76,86
		-70	0,83	0,94	79,78
		-196	0,93	0,59	99,46
	23,33	10	0,65	0,81	57,97
		-10	0,66	0,80	59,05
		-30	0,83	0,90	80,05
		-50	0,89	0,93	87,50
		-70	0,96	0,89	95,53
		-196	0,99	0,51	99,70
	26,67	10	0,70	0,74	65,11
		-10	0,79	0,85	75,89
		-30	0,85	0,91	82,31
		-50	0,91	0,91	89,05
		-70	0,96	0,82	94,90
		-196	0,99	0,39	99,42
1	20,00	10	0,90	0,90	88,96
		-10	0,92	0,93	91,24
		-30	0,93	0,96	92,64
		-50	0,95	0,94	94,33
		-70	0,96	0,87	95,64
		-196	0,99	0,58	99,58
	23,33	10	0,96	0,76	95,78
		-10	0,97	0,95	96,19
		-30	0,97	0,97	96,51
		-50	0,99	0,89	98,50
		-70	0,97	0,89	96,39
		-196	0,99	0,46	99,78
	26,67	10	0,97	0,69	97,71
		-10	0,99	0,77	98,94
		-30	0,99	0,91	98,88
		-50	0,99	0,84	98,89
		-70	0,99	0,76	99,18
		-196	0,99	0,36	99,78

Из таблиц 9 и 10 видно, что использование искусственного охлаждения семян гибрида подсолнечника Украинский F1 перед обрушиванием позволяет получить высокие степени обрушивания – 99% и более в сравнении с обрушиванием по классической технологии без охлаждения (плюс 10°C), при этом получить высокие показатели по сохранности ядра, что важно при производстве кондитерских изделий.

### Выводы

Данные, представленные в работе, дают возможность сравнить влияние физико-механических свойств семян гибридов подсолнечника на их обрушивание в условиях классической технологии и усовершенствованной технологии с использованием искусственного охлаждения. В результате чего можно выделить следующие особенности обрушивания семян гибридов подсолнечника:

- в условиях классической технологии обрушивания основное влияние на количественные и качественные показатели обрушивания имеют толщина воздушной прослойки и прочность оболочки, при этом технологические параметры процесса (влажность семян и обороты ротора семенорушки) второстепенны;

- при обрушивании в условиях усовершенствованной технологии с использованием искусственного охлаждения показатель степени обрушивания вырос в среднем на 20% по сравнению с обрушиванием по классической технологии;

- в условиях усовершенствованной технологии обрушивания с использованием охлаждения влияние такого физико-механического параметра как толщина воздушной прослойки снижается на 86-92% по сравнению с классической технологией, а другие физико-механические параметры нивелируются;

- основным фактором, влияющим на качественные и количественные показатели обрушивания, в условиях усовершенствованной технологии выступает температура: при ее снижении наблюдается рост степени обрушивания в сравнении с показателями классической технологии, не зависимо от других свойств семян и характеристик процесса;

- варьирование влажности семян и количества оборотов ротора позволяет получать прогнозируемые показатели

коэффициентов обрушивания и сохранности ядра в зависимости от целевого применения ядра подсолнечника.

### Список литературы

1. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / Под общ. ред. **В. П. Ржехина и А. Г. Сергеева** - Л.: ВНИИЖ 1965. – Т.2 – 418с.
2. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / Под общ. ред. **В. П. Ржехина и А. Г. Сергеева** - Л.: ВНИИЖ 1982
3. Лабораторный практикум по технологии переработки жиров / **Арутюнян Н.С.** - М.: Агропромиздат, 1991. - 160 с.
4. **Демин И.В.** Основы конструирования рушально-веечных агрегатов в маслобойной промышленности. М., Пищепромиздат, 1955.
5. **Ключкин В. В.** Прочность плодовых оболочек высокомасличных семян подсолнечника. *МЖП*, 1958, №9, с. 14-16.
6. **W. Dedio.** Factors Affecting the Hullability and Physical Characteristics of Sunflower Achenes Original Research Article [Text] / **W. Dedio, D.G. Dorrell** // *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. – 1989. – Volume 22, Issue 2. – P. 143-146.
7. **R. Subramanian.** Impact dehulling of sunflower seeds: Effect of operating conditions and seed characteristics [Text] / **R. Subramanian, M.C. Shanthakumar, K. Venkateshmurthy** // *Journal of Food Engineering*. – 1990. - Volume 12, Issue 2. - P. 83-94.
8. **W. Dedio.** Regression model relating decortication of oilseed sunflower hybrids with achene characteristics [Text] / **W. Dedio** // *Canadian Journal of Plant Science*. – 1993. - № 73 (3). – P. 825-828.
9. **Susanta Kumar Das.** Effects of Impeller Vane Configurations and Seed Size on Dehulling Efficiency of Sunflower Seeds Using a Centrifugal Sheller [Text] / **Susanta Kumar Das, R. K. Gupta** // *International Journal of Food Engineering*. – 2005. - Volume 1, Issue 3.
10. **N. Miller.** A Process for the Dehulling of High Oil-Content Sunflower Seeds [Text] / **N. Miller, J. B. M. de Villiers, J. M. J. Peulen** // *European Journal of Lipid Science and Technology*. – 1986. - Volume 88, Issue 7. – P. 268-271.
11. **J.R. Ashes.** A simple device for dehulling seeds and grain [Text] / **J.R. Ashes, N.J. Peck** // *Animal Feed Science and Technology*. – 1978.- Volume 3, Issue 2. – P. 109-116.
12. **Тесленко, С. О.** Безлушпинне ядро соняшнику для отримання кондитерських виробів [Текст] / **С. О. Тесленко, Л. І. Перевалов, Г. В. Садовничий** // *Прогресивні техніка та*

технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі. – Харків, 2013. – Вип. 2 (18). – С. 84-91.

13. **Перевалов, Л. И.** Новая технология обрушивания семян подсолнечника [Текст] / **Л. И. Перевалов, Е. Н. Пивень, А. В. Попсуйшапка, С. А. Тесленко** // *Масложировой комплекс*. – 2012. – № 1. – С. 47-49.
14. **Taradaichenko, Mariia.** Optimal parameters of sunflower seeds dehulling process with freez [Текст] / **Mariia Taradaichenko, Leonid Perevalov, Sergiy Teslenko, Irina Pakhomova** // *Inżynieriar aparatura chemicz.* – 2013. – №4. – С. 374-375.
15. **Тесленко С.А.** Влияние условий обрушивания высокомасличного подсолнечника на переход восков в масло [Текст] / **С.А. Тесленко, А.А. Нетреба, Е.П. Врюкало, Г.В. Садовничий, Л.И. Перевалов** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т. 1, N. 10(67). – С. 41-47.
16. **Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И.** и др. Технология производства растительных масел. – М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1982. – 426с.
17. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / Под ред. **А. Г. Сергеева**.: Л., 1975. – Т.1. – Книга 1. – 726 с.
18. Пат. 17430 Україна, МКИ В02В 3/00, 3/02. Насіннерушка-2 Іхно / Іхно М.П.; заявник і патентовласник Харківський державний політехнічний університет. – № 95042099; заявл. 27.04.95; опубл. 16.10.2000, Бюл. №5.
7. **R. Subramanian, M.C. Shanthakumar, K. Venkateshmurthy** Impact dehulling of sunflower seeds: Effect of operating conditions and seed characteristics. *Journal of Food Engineering*. – 1990. – 12 (2), 83–94.
8. **W. Dedio.** Regression model relating decortication of oilseed sunflower hybrids with achene characteristics, *Canadian Journal of Plant Science*. – 1993. – 73 (3). 825-828.
9. **Susanta Kumar Das, R. K. Gupta.** Effects of Impeller Vane Configurations and Seed Size on Dehulling Efficiency of Sunflower Seeds Using a Centrifugal Sheller, *International Journal of Food Engineering*. – 2005, 1 (3).
10. **N. Miller, J. B. M. de Villiers, J. M. J. Peulen.** A Process for the Dehulling of High Oil-Content Sunflower Seeds, *European Journal of Lipid Science and Technology*. – 1986, 88 (7), 268–271.
11. **J.R. Ashes, N.J. Peck.** A simple device for dehulling seeds and grain, *Animal Feed Science and Technology*. – 1978, 3 (2), 109–116.
12. **S. O. Teslenko, L. I. Perevalov, G. V. Sadovnichij.** Bezlushpinne jadro sonjashniku dlja otrimannja konditers'kih virobiv, *Progresivni tehnika ta tehnologij harchovih virobniectv restorannogo gospodarstva ta tovgivli.*, 2013, 2 (18),. 84-91.
13. **L. I. Perevalov, E. N. Piven', A. V. Popsujshapka, S. A. Teslenko** Novaja tehnologija obrushivanija semjan podsolnechnika, *Maslozhirovoj kompleks*. – 2012, 1, 47-49.
14. **Mariia Taradaichenko, Leonid Perevalov, Sergiy Teslenko, Irina Pakhomova** Optimal parameters of sunflower seeds dehulling process with freez, *Inżynieriar aparaturachemicz.* 2013, 4, 374-375.
15. **S.A. Teslenko, A.A. Netreba, E.P. Vryukalo, G.V. Sadovnichij, L.I. Perevalov** Vlijanie uslovij obrushivanija vysokomaslichnogo podsolnechnika na perehod voskov v maslo, *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*. 2014, 10(67), 41-47.
16. **Kopejkovskij V.M., Danil'chuk S.I., Garbuzova G.I.** i dr. Tehnologija proizvodstva rastitel'nyh masel. – М.: Legkaja i pishhevaja prom-t', 1982, 426.
17. **A. G. Sergeev** Rukovodstvo po tehnologij poluchenija i pererabotki rastitel'nyh masel i zhirov.: L., 1975, 1, Kniga 1, 726.
18. Пат. 17430 Украйна, МКИ В02В 3/00, 3/02. Насіннерушка-2 Іхно / Іхно М.П.; заявник і патентовласник Харківський державний політехнічний університет. – № 95042099; заявл. 27.04.95; опубл. 16.10.2000, Бюл. №5

#### References

1. **V. P. Rzhedin i A. G. Sergeev** Rukovodstvo po metodam issledovanija, tehnohimicheskomu kontrolju i uchetu proizvodstva v maslozhirovoj promyshlennosti L.: VNIIZh 1965, 2, 418.
2. **V. P. Rzhedin i A. G. Sergeev** Rukovodstvo po metodam issledovanija, tehnohimicheskomu kontrolju i uchetu proizvodstva v maslozhirovoj promyshlennosti / - L.: VNIIZh 1982.
3. **Arutjunjan N.S** Laboratornyj praktikum po tehnologij pererabotki zhirov - M.: Agropromizdat, 1991. - 160.
4. **Demin I.V.** Osnovy konstruirovanija rushal'no-veechnyh agregatov v maslobojnoj promyshlennosti. M., Pishhepromizdat, 1955.
5. **Kljuchkin V. V.** Prochnost' plodovyh obolochek vysokomaslichnyh semjan podsolnechnika. *MZhP*, 1958, 9, 14-16.
6. **W. Dedio, D.G. Dorrell.** Factors Affecting the Hullability and Physical Characteristics of Sunflower Achenes Original Research Article, *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. – 1989. 22, (2), 143-146.

Надійшла (received) 12.03.2015

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ СУЧАСНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 004.9:629.3.027.52

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ  
КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ЛЕГКОВИХ  
АВТОМОБІЛІВ

О. О. ЛАРИН\*, А. В. КОЗЛЮК

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна  
\*email: AlexeyA.Larin@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Реалізована система автоматизованого проектування побудови моделі пневматичної шини з урахуванням її внутрішньої багатошарової будови. Створена інформаційна система, яка будує шину, розраховує напружено-деформований стан, похибку та виводить результати. Користувач має можливість перевірити параметри за допомогою креслеників, побудованого у SolidWorks. У якості прикладу побудовано та розраховано дві моделі: автомобільної та велосипедної шин.

**Ключевые слова:** пневматичні шини, параметризація, система автоматизованого проектування, напруження, метод скінченних елементів

**АННОТАЦИЯ** Реализована система автоматизированного проектирования построения модели пневматической шины с учетом ее внутренней многослойной структуры. Создана информационная система, которая строит шину, рассчитывает напряженно-деформированное состояние, погрешность и выводит результаты. Пользователь имеет возможность проверить параметры с помощью чертежей, построенных в SolidWorks. В качестве примера построены и рассчитаны две модели: автомобильной и велосипедной шин.

**Ключевые слова:** пневматические шины, параметризация, система автоматизированного проектирования, напряжения, метод конечных элементов

A DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATED  
CONSTRUCTION OF FE MODELS OF PNEUMATIC

O. LARIN\*, A. KOZLYUK

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

**ABSTRACT** In this work there is a project of working out of the information system of automated constructing of computer models of pneumatic tires. Using of CAD facilitates model constructing and raises a precision of the calculation, makes it possible to vary by parameters for the attainment of a reduction of the expense value, the augmentation of a using term, the reduction of consumptions during the exploitation. There is a need for the creation of specialized CAD, which will take into consideration a specific nature of the object, which is researched; will get necessary characteristics in the practical ratio by the direct application, will have an interface which will be simple convenient and clear intuitively for the designer as well. The system allows to take into account inset multi layered structure of tire and gives geometric and finite-element model, which could be used for analysis of its deformed state. A structural analysis is also automated and organized via the CAE software. The user has the possibility to check the necessary parameters using drawings, built in SolidWorks and to get figures of a distribution of the stresses and strains and to get the model error estimation. In spite of essential differences in measurements, the definite variation of inside structure, all pneumatic tires have general principles of the geometric design, that makes it possible to create a common system of the parameterization and automated constructing. Different rubber mixtures and composite materials are used in each layer of the pneumatic tire. So, the setting procedure of unique features of materials of the layers will be carried out for each one. In this work a main attention is given to parametric modeling of a tire profile and its structure. As an example two model is built and designed. These are the models of automobile and bicycle tires.

**Keywords:** pneumatic tires, parameterization, computer aided design, stress, finite element method

Вступ

Пневматична шина є важливим елементом ходової частини автотранспортних

засобів. Характеристики шини впливають на гальмівні та тягові показники, на витрату палива, плавність ходу, керуваність, стійкість

руху тощо. Разом із цим показники міцності та довговічності шин є важливими складовими надійності та безпеки експлуатації транспортного засобу в цілому. Вони визначаються характеристиками деформування шини за різних умов роботи [1]. Дійсно, експлуатаційні характеристики визначаються радіальною (вертикальною), боковою (латеральною), тангенціальною (поздовжньою) жорсткостями, які є розв'язком задачі деформування пневматичної шини із дорожнім покриттям за різних навантажень [2]. Вони закладаються також і в алгоритми сучасних систем електронного керування в транспортних засобах (комп'ютеризовані системи ABS, ESP, StabiliTrak тощо) [3] отже достовірно визначення інтегральних характеристик шин є важливою практичною задачею, що стоїть перед інженерами та проектувальниками. Зрозуміло, що ці характеристики визначаються конструкцією шини, її будовою, внутрішньою структурою, властивостями матеріалів тощо.

Визначення експлуатаційних характеристик пневматичних шин, прогнозування їх надійності та оцінка строку служби може бути проведена експериментально або теоретично, шляхом комп'ютерного моделювання. На сьогоднішній день останнє набуває більшої популярності в практиці проектування. Оскільки теоретичні дослідження, що проводяться із застосуванням сучасних програмних комплексів чисельного моделювання, є більш дешевим засобом, разом із тим дозволяє отримати досить точні результати. При цьому на перший план виходить якість побудованих комп'ютерних моделей, які з одного боку дозволяють отримувати достовірні результати, враховують основні особливості конструкції (геометрію, внутрішню структуру, поведінку матеріалів тощо), а з іншого боку є достатньо гнучкі, тобто дозволяють легко змінювати параметри моделі, з тим аби отримати нову конструкцію, або модифікувати існуючу. Для досягнення цієї мети доцільно застосувати системи автоматизованого проектування (САПР), що реалізовані у сучасних програмних комплексах.

Використання САПР облегшує побудову моделі та підвищує точність розрахунків, дозволяє варіювати параметрами для досягнення зниження вартості затрат, збільшення терміну використання, зменшення витрат при експлуатації. Проте існуючі системи є занадто уніфікованими, потребують

спеціальної підготовки конструктора та обмежені у прямому застосуванні для визначення інтегральних характеристик пневматичної шини, а також не дозволяють оцінювати її ресурс. Отже виникає потреба в створенні спеціалізованої САПР, що буде: враховувати специфіку об'єкту, що досліджується; безпосереднім застосуванням дозволить отримувати необхідні в практичному відношенні характеристики, а також матиме простий зручний і інтуїтивно зрозумілий для проектувальника інтерфейс. Створення таких систем є важливою та актуальною проблемою [4].

В даній роботі представлено проект з розробки інформаційної системи (ІС) автоматизованої побудови комп'ютерних моделей пневматичних шин.

### Побудова параметричної моделі

Шини використовуються в багатьох транспортних засобах, таких як, автомобілі, велосипеди, трактори, мотоцикли, літаки, тощо. Незважаючи на істотні відмінності у габаритних розмірах, певну варіацію внутрішньої структури, всі пневматичні шини мають загальні принципи геометричної конструкції, що дозволяє створити єдину систему параметризації та автоматизованої побудови. Пневматична шина складається з каркасу, брекеру, бортового кільця, протектора та боковини (рис.1) [5,6].

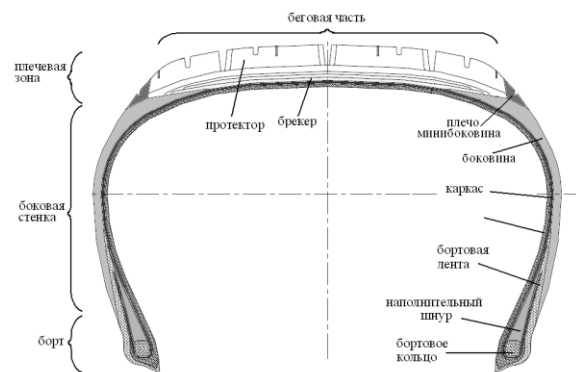


Рис. 1 – Структура пневматичної шини

У даній роботі основна увага приділена параметричному моделюванню профілю шини і його структури. При цьому не враховувались особливості малюнка протектора. Першим етапом автоматизації є визначення комплексу базових параметрів [7]. В структурній схемі, яка наведена на рис.2, показані деякі параметри та їх взаємозв'язок (рис.2).

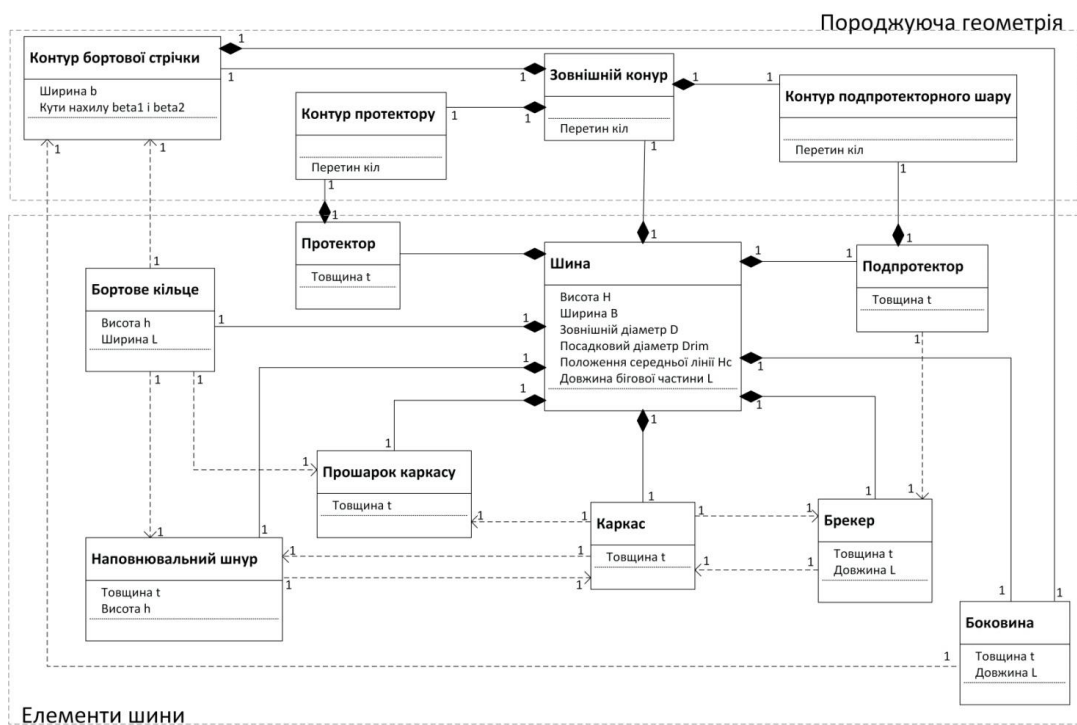


Рис. 2 – Діаграма класів (пунктирною лінією зображені залежності між елементами, лінією з ромбом на кінці – композиція елементів, тобто: один елемент є частиною іншого)

Побудову геометричної моделі шини починають з точок, координати яких визначають із габаритних розмірів. Ставляться опорні точки центрів кіл, які формують зовнішній контур профілю шини. Між крайніми точками профілю будуються дуги кіл. Загальна точка сусідніх секторів визначається з вирішення задачі їх перетину. По заданим параметрам визначається зовнішній контур борту (рис.3).

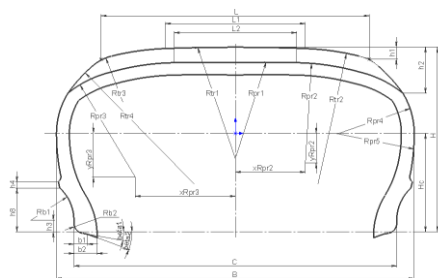


Рис. 3 – Основні розміри поперечного перерізу пневматичної шини

Для побудови внутрішніх шарів шини задаються опорні точки, виходячи із заданими товщинами та іншими додатковими параметрами. Послідовно для кожного шару у відповідності з точками повторюємо контури за допомогою дуг кіл. Створюємо плоскі поверхні по контуру кожного з шарів. Об'ємна модель будується шляхом протягування

профілю шини навколо осі. Деталі алгоритму побудови моделі конструкції наведенні на блок-схемах (рис.4-6).

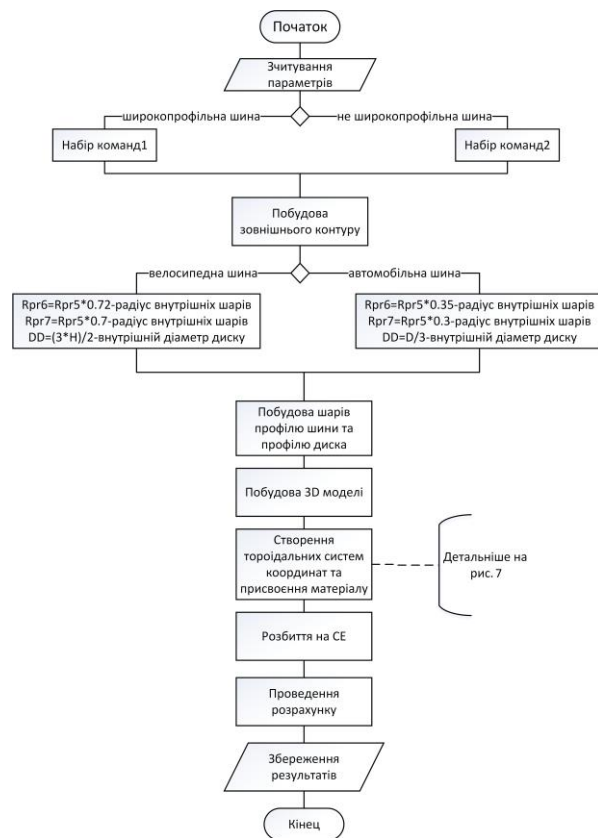


Рис. 4 – Загальна блок схема

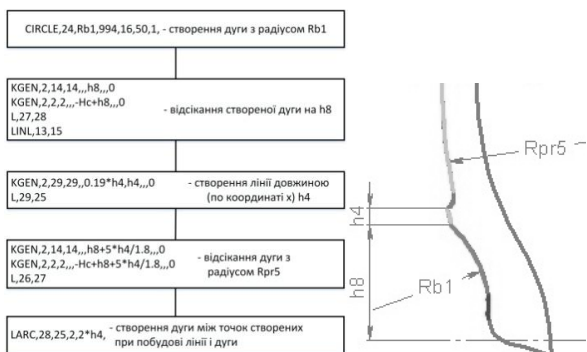


Рис. 5 – Набір команд 1

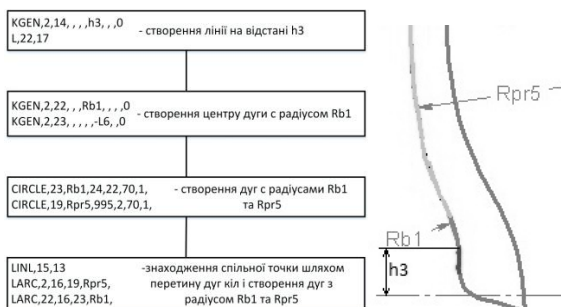


Рис. 6 – Набір команд 2

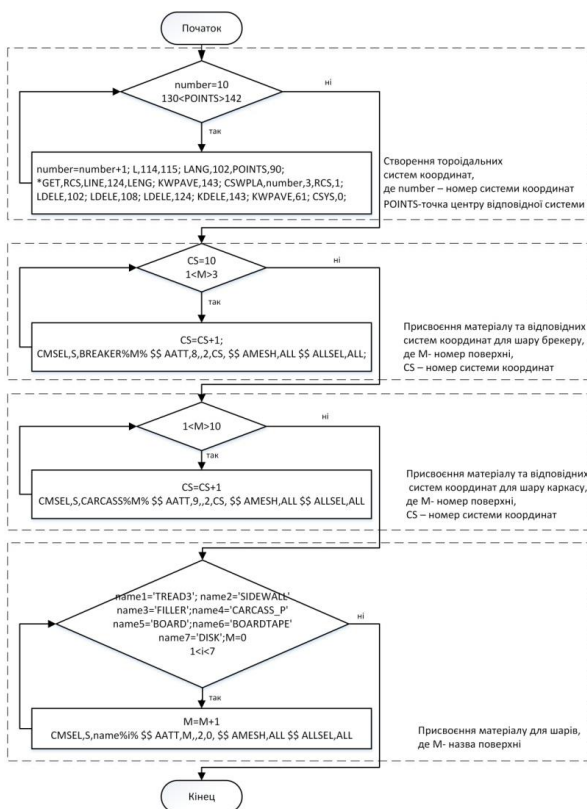


Рис. 7 – Створення тороїдальних систем координат та присвоєння матеріалу

Приклади побудованих моделей представлені на рис.8.

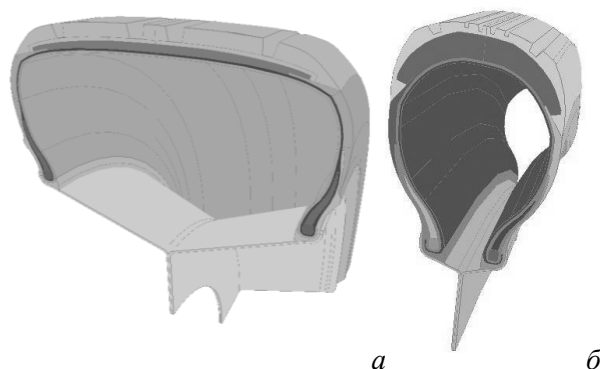


Рис. 8 – Модель шини: а – автомобільної; б – велосипедної

В основі кожного з шарів пневматичної шини лежить певна гумова суміш [8-9]. Їх властивості залежать від призначення відповідного шару та можуть мати суттєво різні показники. Наприклад, модуль пружності гумоподібних матеріалів протектора, боковини та наповнювача відрізняються один від одного у понад п'ять разів. Більше того, каркас та брекер представляють собою гумо-кордні композити (класичні ортотропні матеріали). Модуль пружності цих композитів у напрямку армування є більшим за пружність гуми на два порядки. Важливо відмітити, що ортотропні властивості зазначених шарів мають бути задані у криволінійних координатах, оскільки армування шини повторює її геометрію, та має по дві кривизни. Конкретне завдання ортотропних властивостей, внаслідок цього потребує завдання їх в криволінійній системі координат. В даній роботі для цього побудовано систему тороїдальних фінітно-заданих координат (рис.9).

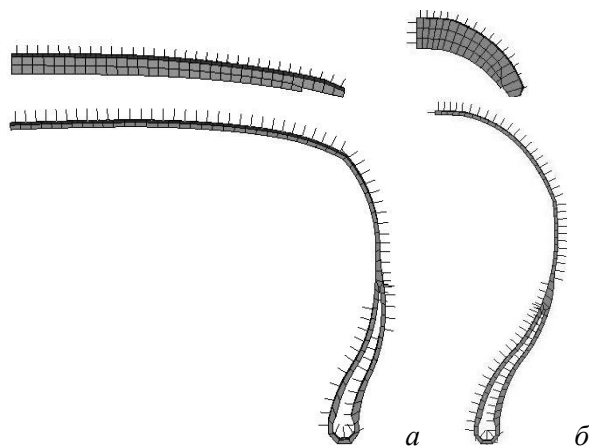


Рис. 9 – Присвоєні системи координат для: а – автомобільної шини, б – велосипедної шини



Таким чином, запропоноване параметричне моделювання дозволяє описувати особливості геометрії шин, їх внутрішню структуру та різноманітність матеріалів для широкого класу конструкцій. Вказаний підхід до параметричного моделювання був застосований для створення програмного продукту, який представляє собою ІС САПР пневматичних шин.

### Опис створеної інформаційної системи та її інтерфейсу

Запропонована ІС є інтегрованим спеціалізованим програмним комплексом, що використовує сучасну CAD систему SolidWorks (перевірка параметрів) та CAE систему Ansys (проведення необхідних інженерних розрахунків). На рис.10 представлена архітектура даної ІС. Управління системою організовано за допомогою систематизованого додатку: керуючої програми. Дана програма призначена для моделювання різноманітних шин і проведення розрахунку їх напружено-деформованого стану (НДС), і написана на мові C# (C Sharp).

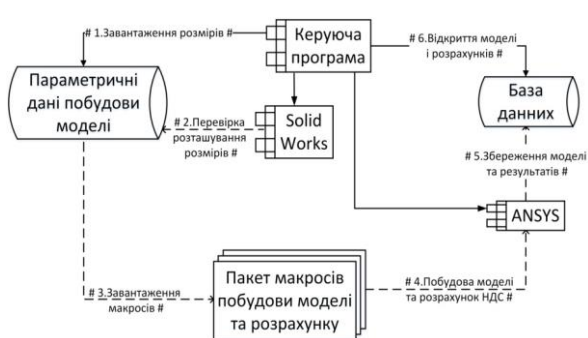


Рис. 10 – Діаграма компонентів

Параметрична модель шини реалізована у вигляді системи макросів, що використовує в роботі набір параметрів, який має бути попередньо збереженим в БД. Додатково створено систему типових креслень перерізу шини у CAD системі SolidWorks (SW), які використовувались для візуалізації процесу вибору параметрів шини. Керуюча програма має власний графічний інтерфейс, пристосований для завдання параметрів моделі. Загальна схема взаємодії користувача із розробленою ІС проілюстровано на відповідних діаграмах UML (рис.11 та рис.12).

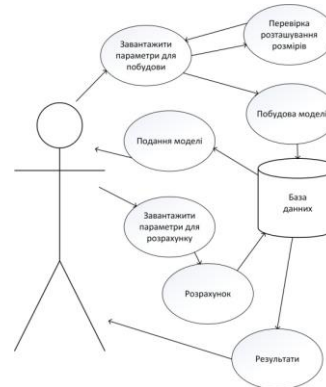


Рис. 11 – Діаграма прецедентів

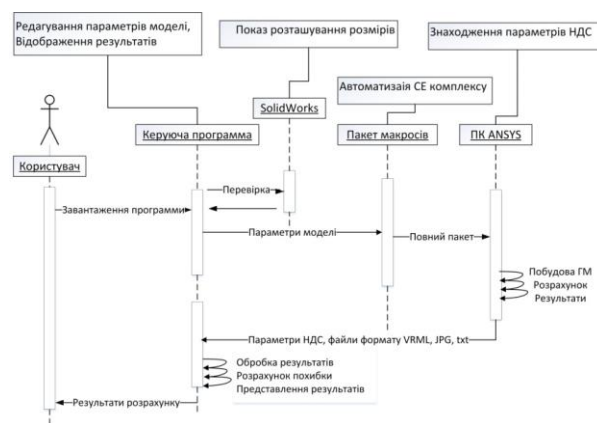


Рис. 12 – Діаграма послідовності (пунктирною лінією зображені часові осі)

Користувач має можливість завантажити текстовий файл, що описує розміри шини, або ввести необхідні розміри в певне поле (рис.13). Якщо значення є неприпустимими, програма реагує на них виведенням повідомлення. За допомогою кнопки «Відкрити креслення для довідки» здійснюється зв'язок креслення з розмірами: при наведенні на розмір він буде показаний в SW (рис.14). Зважаючи на те, який вид шин був обраний, відкриється креслення або автомобільної, або велосипедної шини. Через розмаїття пневматичних шин деякі розміри можуть бути зайвими, але програма підкаже, що робити в цьому випадку.

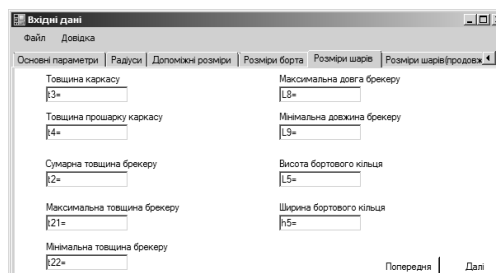


Рис. 13 – Вкладка форми «Вхідні дані»

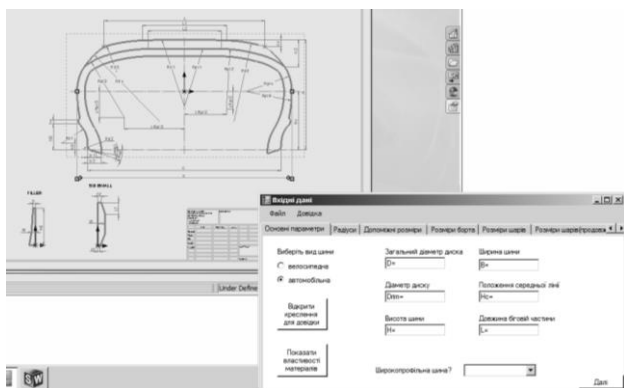


Рис. 14 – Запуск кресленка SolidWorks, та його взаємодія з Visual C#

Натиснувши на кнопку "модель 3D" буде показана модель за допомогою спеціального плагіну Cortona 3D (рис.15) [11].

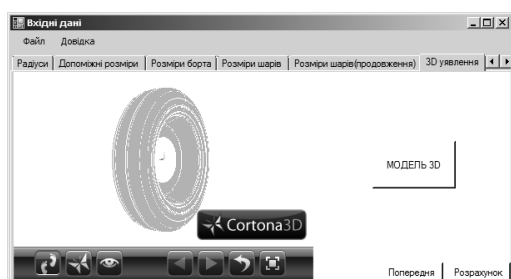


Рис. 15 – Вкладка «3D уявлення і параметри розрахунку»

Вихідними даними є виведена на екран графічна і текстова інформація – результати аналізу (рис.16). Програмний продукт дозволяє аналізувати шину в цілому та різні її елементи окремо.

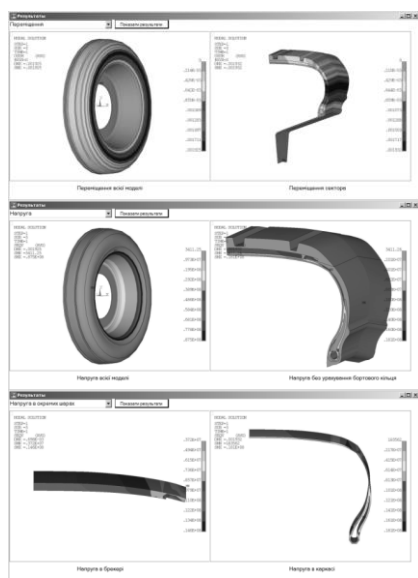


Рис. 16 – Форма «Результати»

За допомогою 3D скінченно-елементної моделі проведено аналіз статичного напружено-деформованого стану шини під дією внутрішнього тиску. Найбільші переміщення знаходяться в нижній частині боковини (рис.17). Цікаве явище спостерігається у деформуванні боковини шини, яке зумовлено наявністю зони, що майже не отримує переміщень порівняно із сусідніми частинами. Така поведінка зумовлена різнонаправленістю деформації бігової доріжки та боковини і здатна призвести до концентрації напружень в районах близьких до цього місця.

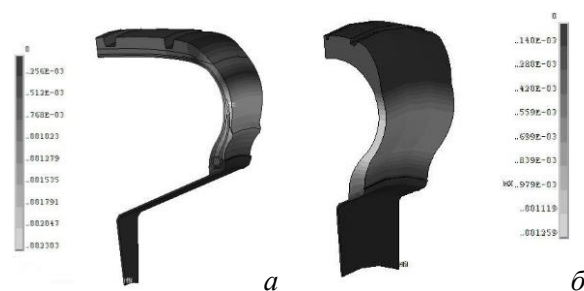


Рис. 17 – Розподіл сумарних переміщень (а–автомобільної шини, б–велосипедної шини)

На рис. 18-19 зображені еквівалентні напруження по критерію Мізеса. Максимальні напруження виникають в каркасі, брекері та у бортовій зоні.



Рис. 18 – Розподіл еквівалентних напружень (а –автомобільної шини, б–велосипедної шини)



Рис. 19 – Розподіл еквівалентних напружень в каркасі (а –автомобільної шини, б–велосипедної шини)

## Висновки

В даній роботі розроблена параметрична модель пневматичної шини з урахуванням її внутрішніх шарів. Створена інформаційна система, яка будує пневматичну шину, за заданими користувачем параметрами (розмірами), властивостями матеріалів, показує модель у 3D виді, розраховує НДС, похибку та виводить розрахунки користувачеві. У якості прикладу роботи ІС побудовано та розраховано дві моделі: автомобільної та велосипедної шин.

## Список літератури

- 1 **Clark S.K.** et al The pneumatic tire // National Highway Traffic Safety Administration. USA Dep. Of Transportation. – 2006. – P. 707.
- 2 **Dr. David Manas** Wear of Tires // Encyclopedia of Tribology. – 2013. – PP. 4073-4086.
- 3 **Miquet Charles** New test method for reproducible real-time tests of ADAS ECUs: “Vehicle-in-the-Loop” connects real-world vehicles with the virtual world // 5th International Munich Chassis Symposium 2014. – 2014. – P. 575-589.
- 4 Borhen Louhichi CAD/CAE integration: updating the CAD model after a FEM analysis / **Gad N. Abenhaim, Antoine S. Tahan** //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology // 2014.
- 5 **Кнороз В.И.** Работа автомобильной шины / **В.И. Кнороз.** – М. : Транспорт, 1978. – 238 с.
- 6 **Бухин Б.Л.** Введение в механику пневматических шин / **Б.Л. Бухин.** – М. : Химия, 1988. – 224 с.
- 7 **Ларин А.А.** Компьютерное автоматизированное проектирование пневматических шин легковых автомобилей / **А.А.Ларин, М.И. Лобас** // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАУ «ХАИ», 2011.– № 50.– С. 69-74.
- 8 **Ларін О.О.** Розробка багатшарової 3D комп'ютерної моделі пневматичної шини з урахуванням ортотропії її механічних властивостей / **О.О. Ларін, Ю.В. Арефін, О.І. Субочев, О.М. Ларін** // Вісник Севастопольського національного технічного університету, Серія:Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ, 2011.– №121.– С. 102-105
- 9 Shiguo Rao Mechanical Properties and Failure Behavior of Cord/Rubber Composites / **Isaac M. Daniel, Emmanuel E. Gdoutos** // Applied Composite Materials, Volume 11, Issue 6.-2004.- P. 353-375.
- 10 Shih-Yen Huang The Tires Worn Monitoring Prototype System Using Image Clustering

Technology / **Yi-Chung Chen, Kuen-Suan Chen, Hui-Min Shih** // Recent Trends in Applied Artificial Intelligence. – 2013. – PP.626-634.

- 11 Cortona3D Viewer - интерактивный браузер для просмотра 3D сцен[Электронный ресурс] // Сайт Cortona3D . — Режим доступа : <http://www.cortona3d.com/ru/cortona3dviewer>

## References

- 1 **Clark S.K.** et al The pneumatic tire // National Highway Traffic Safety Administration. USA Dep. Of Transportation. – 2006. – P. 707.
- 2 **Dr. David Manas** Wear of Tires // Encyclopedia of Tribology. – 2013. – PP. 4073-4086.
- 3 **Miquet Charles** New test method for reproducible real-time tests of ADAS ECUs: “Vehicle-in-the-Loop” connects real-world vehicles with the virtual world // 5th International Munich Chassis Symposium 2014. – 2014. – P. 575-589.
- 4 Borhen Louhichi CAD/CAE integration: updating the CAD model after a FEM analysis / **Gad N. Abenhaim, Antoine S. Tahan** //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology // 2014.
- 5 **Кнороз В.И.** Work of the automobile tire / **В.И. Кнороз.** – М. : Transport, 1978. – 238 с.
- 6 **Бухин Б.Л.** Introduction to mehaniku pnevmaticheskikh tires / **Б.Л. Бухин.** - М. Himimya, 1988. - 224s.
- 7 **Larin A.A.** Computer aided design of pneumatic passenger car tires / **A.A. Larin, M.I. Lobas** // Public information and computer integrated technologies : Sat scientific . tr. - H.: Nat . Aerospace . Univ "HAI " 2011 . - Vol. 50, 2011 , 68-74 с.
- 8 **Larin A.A.** A development of the multilayer 3D computer model of the pneumatic tire subjected to the orthotropy of its mechanical properties / **A.A. Larin, Y. Arefin, O.I. Subochev, A.M. Larin** // News Sevastopol natsionalnogo tehnicnogo universitetu , sulfur : Mashinopriladobuduvannya that transport. - Sevastopol: SevNTU 2011. - No 121. - S. 102-105
- 9 Shiguo Rao Mechanical Properties and Failure Behavior of Cord/Rubber Composites / **Isaac M. Daniel, Emmanuel E. Gdoutos** // Applied Composite Materials, Volume 11, Issue 6.-2004.- P. 353-375.
- 10 Shih-Yen Huang The Tires Worn Monitoring Prototype System Using Image Clustering Technology / **Yi-Chung Chen, Kuen-Suan Chen, Hui-Min Shih** // Recent Trends in Applied Artificial Intelligence. – 2013. – PP.626-634.
- 11 Cortona3D viewer is a fast, interactive web 3D viewer for VRML files [Electronic resource] // Website Cortona3D . — Mode of access : <http://www.cortona3d.com/ru/cortona3dviewer>

Надійшла (received) 08.12.2014

УДК 681.51.012

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

И.Л. ЛЕВЧУК\*, А.Р. ШЕЙКУС, В.Я. ТРИШКИН

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск,  
УКРАИНА

\*e-mail: lil@ukrpost.ua

**АННОТАЦИЯ** У роботі запропонований спосіб керування процесом ректифікації за допомогою розподілених керуючих впливів, що забезпечує отримання дистилляту максимально можливої якості при мінімальних енерговитратах. За математичною моделлю виконано дослідження впливу розподілених управляючих впливів на вихідні параметри установки ректифікації, встановлена доцільність їх використання при управлінні процесом. Запропонований спосіб управління процесом ректифікації може використовуватися при розробці систем оптимального управління даним процесом.

**Ключові слова:** спосіб управління, ректифікація, розподілені управляючі дії

**АННОТАЦИЯ** В работе предложен способ управления процессом ректификации на основе распределенных управляющих воздействий, обеспечивающий получение дистиллята максимально возможного качества при минимальных энергозатратах. По математической модели выполнено исследование влияния распределенных управляющих воздействий на выходные параметры установки ректификации, установлена целесообразность их использования при управлении процессом. Предложенный способ управления процессом ректификации может использоваться при разработке систем оптимального управления данным процессом.

**Ключевые слова:** способ управления, ректификация, распределенные управляющие воздействия

## CONTROL METHOD OF DISTILLATION PROCESS WITH DISTRIBUTED CONTROL EFFECTS

I. LEVCHUK\*, A. SHEYKUS, V. TRISHKIN

Ukrainian state university of chemical technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

**ABSTRACT** The aim is the improvement of the method of managing the process of rectification based on distributed control actions to increase the quality of the final product and to improve the economic efficiency of the process. The paper presents a mathematical description of the statics of a distillation column adapted to solve the problem management. A method is developed for process control of the rectification based on distributed control actions, producing distillate is the best possible quality with minimal energy consumption. According to the mathematical model study of the influence of distributed discrete and continuous control actions on the output parameters of distillation. Analysis of the dependence of the optimal composition of the distillate from the distillate flow in the column showed that distributed discrete control action in the form of a switching point of the input of raw materials in the column provides greater management efficiency, in comparison with continuous distributed control action in the form of redistribution of the raw material into two streams. Control by switching the point of entry of raw materials into rectification column saves the coolant flow in a cube columns on the interval of flow of distillate 70 KMOL/h or more is reduced to the desired steam flow rate in the column. This leads to cost reduction of the coolant per unit of production and reduces the overall energy consumption and the cost of the rectification process. The proposed method of controlling the rectification process can be used in the development of systems of optimal control of the process.

**Keywords:** control method, rectification, distributed control action

### Введение

Современное развитие химической и родственных отраслей промышленности связано с широким применением технологических процессов, основанных на фундаментальных явлениях тепло-массо-переноса.

К массообменным относят процессы, в которых происходит перенос вещества из одной фазы в другую в направлении установления равновесия [1]. Перенос вещества в середине фаз, а также через границу раздела фаз осуществляется путем диффузии, поэтому массообменные процессы называются также

© И.Л. ЛЕВЧУК, А.Р. ШЕЙКУС, В.Я. ТРИШКИН, 2015

диффузионными. К этой группе процессов относятся процессы ректификации, абсорбции, экстракции, кристаллизации, сушки и другие.

Процессы ректификации [2] являются одной из распространенных групп диффузных процессов и, несмотря на высокую энергоемкость, сложность, распределенность по длине аппарата и во времени физических превращений, их большую энергоемкость, ректификация остаётся основным методом разделения жидких смесей. Для многих производств, процесс ректификации является основным звеном технологической цепочки и определяет качество, а также себестоимость выпускаемой продукции.

В современных реалиях экономического кризиса, постигшего мир в последние годы, задача улучшения технико-экономических показателей массообменных процессов, к которым относится и ректификация, является весьма актуальной. Один из путей решения этой задачи - совершенствование способов управления массообменными процессами и разработка новых, более эффективных систем управления на их основе.

Исследованию способов управления ректификационными установками посвящено большое количество работ. В работе [3] выполнен обзор существующих способов управления ректификационными установками. Вопросы оптимального управления процессами ректификации рассмотрены в работе [4]. Способы управления ректификационной колонной на основе нейронных сетей [5]. Управление процессом ректификации по математической модели в работе [6] и путем изменения тарелки питания [7].

В последние годы для повышения эффективности управления диффузионными процессами, которые осуществляются в колонных аппаратах, используются системы управления с распределенными управляющими воздействиями [8, 9]. При этом математические модели, используемые в этих системах, имеют объектно-ориентированный характер и недостаточный уровень проработки методологических вопросов. В разработанных методах управления в основном используются традиционные подходы для повышения качества управления, при которых не достигаются потенциальные возможности технологических процессов.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка новых, более эффективных способов управления диффузионными процессами, к которым относится и ректификация, на основе распределенных

управляющих воздействий - это актуальная научная задача.

### Цель работы

Объект исследования - способы управления процессом ректификации.

Цель работы - усовершенствование способа управления процессом ректификации на основе распределенных управляющих воздействий для увеличения качества конечного продукта и повышения экономической эффективности процесса.

### Изложение основного материала

Распределенное управление системами с распределенными параметрами отличается тем, что входное воздействие включает в себя перемещение источника субстанции (вещества, энергии и др.) в пространственной области, занимаемой распределенным объектом, а роль управляющих сигналов берут на себя закон этого перемещения и (или) изменение мощности источника в процессе перемещения.

В диффузионных процессах, в частности в процессе ректификации, распределенность управляющих действий заключается в перераспределении входящего потока сырья в пространстве колонны, или в изменении точки ввода сырья в колонну.

Анализ известных способов управления процессом ректификации на основе распределенных управляющих воздействий [9, 10] показал, что они не обеспечивают высокого качества управления и требуют дальнейшего совершенствования для получения более качественного продукта и уменьшения энергетических затрат.

В данной работе проводится разработка способа управления, основанного на принципах распределенного управления и обеспечивающего протекание процесса ректификации оптимальным образом.

Для решения поставленной задачи управление процессом ректификации осуществляется путем изменения соотношения расходов потоков сырья, которые подаются в верхнюю и нижнюю части колонны. При этом изменение соотношения расходов потоков сырья в колонну рассчитывается по математической модели в зависимости от расхода и состава сырья, а регулирование расхода парового потока в колонне осуществляется путем изменения расхода греющего пара в куб колонны.

Расход пара в куб колонны и соотношение расходов потоков сырья рассчитывается по математической модели в зависимости от состава и расхода сырья в колонну, температуры греющего пара в куб колонны и температуры кубового продукта.

Стабилизации также подлежит уровень кубового продукта путем изменения расхода

кубового продукта, давление в колонне путем изменения подачи хладагента в холодильник-конденсатор и расход дистиллята.

На рис. 1 представлена схема разработанного способа управления процессом ректификации.

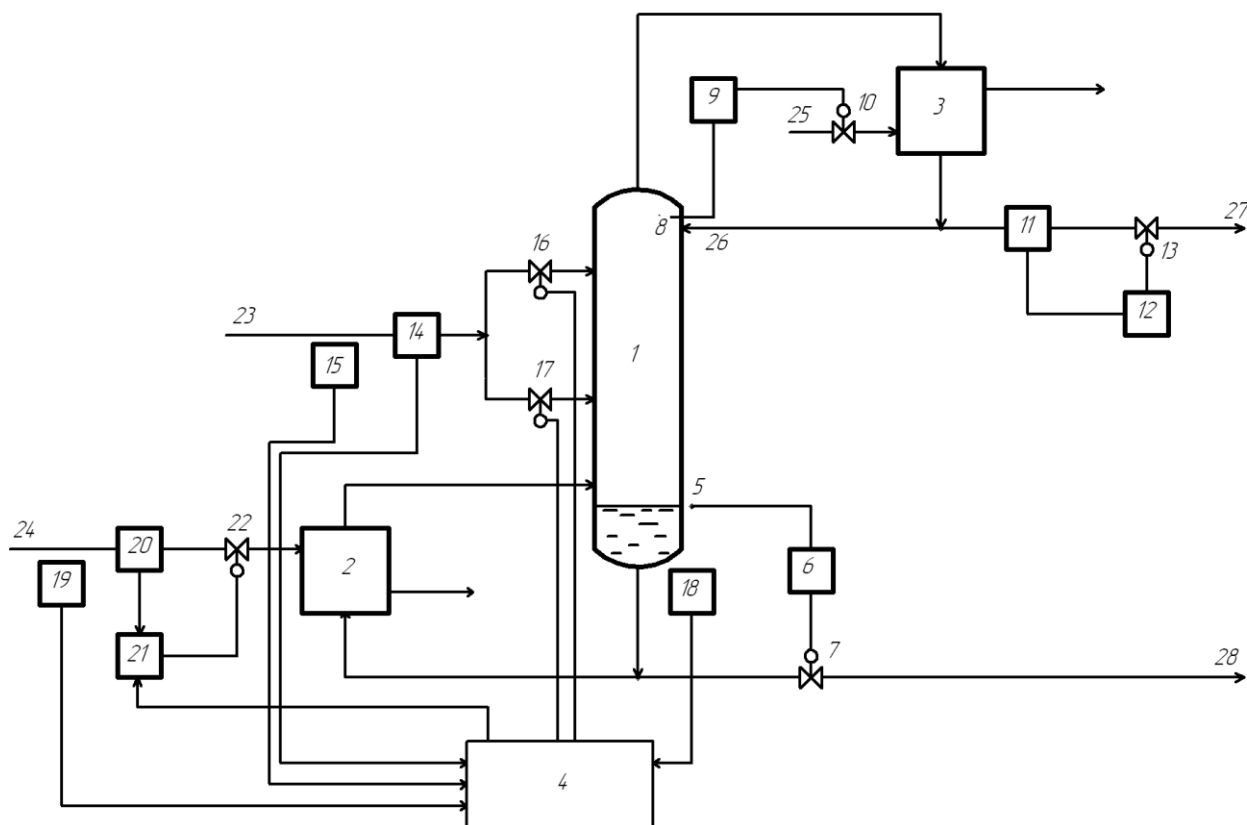


Рис. 1 – Схема управления процессом ректификации с распределенными управляющими воздействиями

Процесс разделения смеси производится в колонне 1, оснащенной теплообменником 2, холодильником-конденсатором 3, вычислительным устройством 4, датчиком уровня кубового продукта 5, регулятором уровня кубового продукта 6, исполнительным устройством 7, датчиком давления в колонне 8, регулятором давления в колонне 9, исполнительным устройством 10, датчиком расхода дистиллята 11, регулятором расхода дистиллята 12, исполнительным устройством 13, датчиками расхода 14 и состава сырья 15, исполнительными устройствами 16 и 17, датчиком температуры в кубе колонны 18, датчиками температуры 19 и расхода греющего пара в куб колонны 20, регулятором расхода греющего пара в куб колонны 21, исполнительным устройством 22, линиями подачи сырья в колонну 23 греющего пара в

куб колонны 24, хладагента в холодильник-конденсатор 25, орошения в колонну 26, отбора дистиллята 27 и кубового продукта 28.

Способ управления процессом ректификации осуществляют следующим образом.

Контур стабилизации уровня кубового продукта и давления в колонне обеспечивают нормальное, безаварийное ведение процесса ректификации. Задача регуляторам 6 и 9 определяют согласно технологическому регламенту. Давление стабилизируют изменением подачи хладагента в холодильник-конденсатор, уровень - изменением расхода кубового продукта. Контур стабилизации выхода дистиллята позволяет получать необходимое количество готового продукта. Задание регулятору 12 задается в зависимости от необходимой производительности процесса.

Управление процессом ректификации осуществляют путем изменения соотношения расходов потоков сырья, которые подаются в верхнюю и нижнюю части колонны, и изменения расхода греющего пара в куб колонны таким образом, что обеспечивается максимизация состав конечного продукта при необходимой производительности процесса.

Расчет оптимальных значений расхода греющего пара в куб колонны и соотношение расходов потоков сырья осуществляют в вычислительном устройстве 4 по математической модели, структура которой имеет вид:

$$V_i = V_{i-1} \quad (1)$$

$$L_i = \begin{cases} V_{i-1} + U + W, & i \leq N_{f2} \\ V_{i-1} + U + W + (q-1)F, & N_{f2} < i \leq N_{f1} \\ V_{i-1} + U - D, & i > N_{f1} \end{cases} \quad (2)$$

$$x_i = \begin{cases} \frac{V_{i-1} \cdot y_{i-1} + U \cdot x_{i-1} + W \cdot x_0}{V_{i-1} + U + W} \\ \frac{V_{i-1} \cdot y_{i-1} + U \cdot x_{i-1} + W \cdot x_0 + (q-1) \cdot F \cdot x_f}{V_{i-1} + U + W + (q-1)F} \\ \frac{V_{i-1} \cdot y_{i-1} + U \cdot x_{i-1} + W \cdot x_0 - F \cdot x_f}{V_{i-1} + U - D} \end{cases} \quad (3)$$

$$y_i = y_{i-1} + (y_i^* - y_{i-1}) \cdot \eta_i \quad (4)$$

$$\eta_i = 1 - \exp\left(\frac{-Ky_i}{V_{i-1}}\right) \quad (5)$$

$$Ky_i = \frac{S_i}{\frac{1}{\beta_{y_i}} + \frac{m_i}{\beta_{x_i}}} \quad (6)$$

$$m_i = \left(\frac{\partial y^*}{\partial x}\right)_{x=x_i} \quad (7)$$

$$y_i^* = y^*(x_i) \quad (8)$$

$$\beta_{y_i} = \beta_y(V_{i-1}, Y_{i-1}, L_i, X_i) \quad (9)$$

$$\beta_{x_i} = \beta_x(V_{i-1}, Y_{i-1}, L_i, X_i) \quad (10)$$

$$F = W + D \quad (11)$$

$$F \cdot x_f = W \cdot x_0 + D \cdot x_{N+1} \quad (12)$$

$$x_{N+1} = x_d \quad (13)$$

$$x_0 = x_w \quad (14)$$

$$L_{N+1} = V_N - D \quad (15)$$

где  $x_f$  - состав питательной смеси в мольных долях летучего компонента в жидкой фазе;

$x_{N+1}, x_d$  - состав дистиллята в мольных долях легколетучего компонента;

$x_0, x_w$  - состав кубового остатка в мольных долях легколетучего компонента;

$F$  - расход питательной смеси, кмоль/ч;

$V$  - расход пара в колонне, кмоль/ч;

$x_i$  - состав жидкой фазы на  $i$ -й тарелке в мольных долях легколетучего компонента;

$y_i$  - состав паровой фазы на  $i$ -й тарелке в мольных долях легколетучего компонента;

$\eta$  - коэффициент Мерфи, характеризует эффективное действие тарелки по паровой фазе;

$K_y$  - коэффициент массопередачи;

$m$  - значение первой производной от функции кривой равновесия;

$S$  - эффективная площадь тарелки, м<sup>2</sup>;

$\beta_x$  - настроечный параметр модели, коэффициент массоотдачи по жидкой фазе;

$\beta_y$  - настроечный параметр модели, коэффициент массоотдачи по паровой фазе;

$D$  - величина отбора дистиллята, кмоль/ч;

$N$  - количество тарелок;

$N_{f1}$  - номер верхней тарелки питания;

$N_{f2}$  - номер нижней тарелки питания;

$q$  - коэффициент перераспределения сырья между тарелками питания. Показывает, какая часть общего потока сырья подается на верхнюю тарелку питания;

$W$  - величина отбора кубового остатка, кмоль/ч;

$L$  - расход флегмы, кмоль/ч;

$U$  - величина, характеризующая внесение жидкости с тарелки, кмоль/ч;

$y^*(x)$  - концентрация легколетучего компонента в паре, равновесном с жидкостью состава  $x$ .

Уравнения (1)-(10) составляют математическую модель ректификационной колонны. Уравнения (11)-(15) - общие уравнения материального баланса и уравнение связи.

Совокупность уравнений (1)- (15) дает полное математическое описание статики ректификационной колонны. Для бинарной ректификации она может быть расшифрована с учетом степеней свободы системы в виде:

$$\begin{cases} x_{N+1} = \Phi(F, x_f, D, V, q, x_0) \\ x_{N+1} = L(F, x_f, D, x_0) \end{cases} \quad (16)$$

где  $\Phi$  - нелинейная часть системы, которая реализуется в результате потарелочного расчета и содержит уравнения (1)-(10);

$L$  - линейная часть, уравнение материального баланса по летучим компонентам (12).

Система уравнений (16) полностью определена и может быть решена итерационными методами. Результатом расчета являются составы дистиллята и кубового продукта при известных расходе  $F$  и составе сырья  $x_f$ , расходе дистиллята  $D$ , расходу пара в колонне  $V$  и коэффициенте перераспределения сырья  $q$ .

Информация о главных возмущающие воздействия - расходе и составе сырья, подаваемого в колонну, от датчиков 14 и 15 соответственно поступает в вычислительное устройство 4, которое с помощью итерационных методов рассчитывает значения парового потока в колонне и коэффициента перераспределения сырья, при которых обеспечивается максимизация качества дистиллята.

Регулирование парового потока в колонне осуществляют путем изменения расхода греющего пара в куб колонны, так как между ними существует однозначная зависимость. Таким образом, задача регулятора расхода греющего пара в куб колонны 21, определяется вычислительным устройством на основании рассчитанного оптимального значения расхода пара в колонне и измерений датчиков температуры кубового продукта 18 и температуры 19 греющего пара, подаваемого в куб колонны.

Изменение соотношения затрат потоков сырья, подаваемых в верхнюю и нижнюю части колонны, осуществляется вычислительным устройством путем воздействия на клапаны 16 и 17. Характер действия клапанов выбран таким образом, чтобы при изменении управляющего сигнала один из них открывался, а другой - закрывался.

Изменение соотношения затрат потоков сырья, подаваемых в верхнюю и нижнюю части колонны, эффективно при значительных колебаниях состава и расхода сырья и позволяет сэкономить другие дорогие ресурсы, необходимые для компенсации таких возмущений.

### Обсуждение результатов

Использование методов математического моделирования позволяет получать неизменно высокое качество дистиллята, так как управляющие действия наносятся сразу же после возникновения возмущений.

Незначительные изменения параметров сырья компенсируются контуром регулирования расхода парового потока в

колонне. Кроме того, повышение эффективности управления заключается в возможности экономии и применения сырья более низкого качества, при сохранении такой же производительности и концентрации дистиллята, как и при однопоточном вводе.

На рис. 2. представлены результаты исследования зависимости оптимального состава дистиллята от расхода дистиллята в колонну, выполненные по представленной математической модели при использовании различных способов управления:

- перераспределении сырья на 2 потока (распределенное управление);
- переключение точки ввода сырья (распределенное управление);
- ввод сырья на проектную тарелку питания.

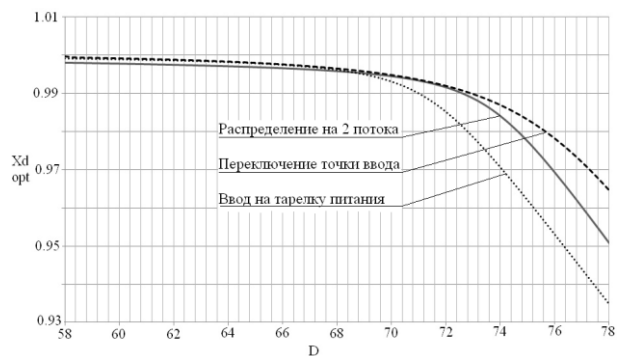


Рис. 2 - Зависимость оптимального состава дистиллята от расхода дистиллята при применении перераспределения сырья на два потока, при переключении точки ввода сырья в колонну и при управлении только путем изменения расхода парового потока в колонне ( $F = 100$ ,  $x_f = 0,76$ )

Анализ полученных зависимостей показал, что использование распределенных управляющих действий (переключение точки ввода сырья в колонну) позволяет сэкономить расход теплоносителя в куб колонны и уменьшить энергоемкость и себестоимость процесса ректификации. Как видно из рис. 2, на интервале расходов дистиллята от 70 кмоль/ч и более применение распределенного управления позволяет значительно повысить производительность процесса при сохранении того же качества продукта. Кроме того, повышенный расход дистиллята на этом интервале уменьшает требуемый расход пара в колонне. Это приводит к снижению затрат теплоносителя на единицу продукции, а, значит, и к снижению ее себестоимости.



Предложенный способ управления процессом ректификации может использоваться при разработке систем оптимального управления данным процессом.

#### Выводы

Представленный в работе новый способ управления процессом ректификации с распределенными управляющими воздействиями, обеспечивает получение дистиллята максимально возможного качества, при минимальных энергозатратах.

Проведенное в работе исследование по математической модели двух вариантов реализации принципа распределенного управления показало наибольшую эффективность управления переключением точки ввода сырья в колонну, в сравнении с перераспределением сырья на 2 потока.

Предложенный способ управления позволяет сэкономить расход теплоносителя в куб колонны и уменьшить энергоемкость и себестоимость процесса ректификации, что приводит к снижению затрат теплоносителя на единицу продукции, а, значит, и к снижению ее себестоимости.

#### Список литературы

1. Орлов, М. Е. Теоретические основы теплотехники. Теплообмен / М. Е. Орлов. – Ульяновск: Ул. ГТУ, 2013. – 204 с.
2. Комиссаров, Ю. А. Научные основы процессов ректификации / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент. – М.: Химия, 2004. – 316 с.
3. Tajdari, M. Shock-Control Study in Ethyl Acetate Production Process in a Reactive Distillation Column: Experimental and Simulation / M. Tajdari, M. Ardjmand, M. Soltamieh, A. A. Safekordi // *World Applied Sciences Journal*. – 2009. – Vol. 7, Issue 5. – P. 574–581.
4. Chandra, P. V. S. R. Multistep model predictive control of ethyl acetate reactive distillation column / P. V. S. R. Chandra, Ch. Venkateswarlu // *Indian Journal of Chemical Technology*. – 2007. – Vol. July. – P. 333–340.
5. Minh, V. T. Model predictive control of a condensate distillation column / V. T. Minh, W. M. W. Muhamad // *International Journal of Systems Control*. – 2010. – Vol. 1. – P. 4–12.
6. Абрамов, К. В. Разработка инвариантной системы управления процессом ректификации / К. В. Абрамов, Ю. Н. Софиева // *Приборы*. – 2012. – № 3(64). – С. 42–47.
7. Островский, Г. М. Выбор оптимальных тарелок питания в замкнутой системе ректификационных колонн / Г. М. Островский, Н. Н. Зиятдинов, Т. В. Лактева // *Теоретические основы химической технологии*. – 2008. – Т. 42, № 4. – С. 401–412.

8. Кубышкин В. А. Подвижное управление тепловыми процессами. Задачи и алгоритмы : труды XII Всерос. совещ. / В. А. Кубышкин, В. С. Суховеров, В. И. Финягина // *Советские проблемы управления*. – Москва, 2014. – 58 с
9. Белоброва, Е. В. Оптимальное управление совмещенными процессами с распределенными управляющими воздействиями. : Зб. наук. пр. НГУ / Е. В. Белоброва // Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2009. – Т. 2, № 33. – С. 48–54.
10. Патент на корисну модель № 88190 Україна. Спосіб керування процесом ректифікації / Білоброва О. В., Шейкус А. Р., Корсун В. І. – опубл. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 11.03.2014. - 2 с.

#### References

1. Orlov, M. E. Teoreticheskie osnovy teplotehniki. Teplomassoobmen. Ulyanovsk: Ul. GTU, 2013, 204.
2. Komissarov, Yu. A., Gordeev, L. S., Vent, D. P. Nauchnyye osnovy protsessov rektifikatsii. Moscow: Himiya, 2004, 316.
3. Tajdari, M., Ardjmand, M., Soltamieh, M., Safekordi, A. A. Shock-Control Study in Ethyl Acetate Production Process in a Reactive Distillation Column: Experimental and Simulation. *World Applied Sciences Journal*, 2009, 7 (5), 574–581.
4. Chandra, P. V. S. R., Venkateswarlu, Ch. Multistep model predictive control of ethyl acetate reactive distillation column. *Indian Journal of Chemical Technology*, 2007, July. 333–340.
5. Minh, V. T., Muhamad, W. M. W. Model predictive control of a condensate distillation column. *International Journal of Systems Control*, 2010, 1, 4–12.
6. Abramov, K. V., Sofieva, Yu. N. Razrabotka invariantnoy sistemyi upravleniya protsessom rektifikatsii. *Pribory*, 2012, 3(64), 42–47.
7. Ostrovskiy, G. M., Ziyatdinov, N. N., Lakteva, T. V. Vyibor optimalnykh tarelok pitaniya v zamknoy sisteme rektifikatsionnykh kolonn. *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii*, 2008, 42(4), 401–412.
8. Kubyshkin V. A., Suhoverov, V. S., Finyagina, V. I. Podvizhnoe upravlenie teplovymi protsessami. Zadachi i algoritmy : trudy XII Vseros. Sovesch. *Soveschanie po problemam upravleniya*, 2014, 58.
9. Belobrova, E. V. Optimalnoe upravlenie sovmeschennymi protsessami s raspredeleennyimi upravlyayuschimi vozdeystviyami. : Zb. nauk. pr. NGU Dnipropetrovsk: RVK NGU, 2009, 2(33), 48–54.
10. Bilobrova, O. V., Sheykus, A. R., Korsun, V. I. Sposib keruvannya protsesom rektifikatsiyi. *Patent na korisnu model №88190 Ukrayina*. opubl. Zareestrovano v Derzhavnomu reestri patentiv Ukrayini na korisnu model 11.03.2014, 2.

Надійшла (received) 20.03.2015

УДК 656.212

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

**В. В. МАЛАШКІН \***

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
Дніпропетровськ, УКРАЇНА  
\*email: malaxa79@mail.ru

**АНОТАЦІЯ** Процес розробки конструкції колійного розвитку залізничних станцій та вузлів супроводжується масовими і трудомісткими розрахунками з'єднань колій і координат основних точок плану. Значне поліпшення даного процесу досягається за рахунок використання структурно-параметричних моделей станцій у сукупності з методами автоматизованого синтезу станцій. В статті розглядаються моделі та алгоритми графічного формування вхідної моделі станції у середовищі AutoCAD, що значно скорочує тривалість процесу проектування її плану.

**Ключові слова:** залізнична станція, колійний розвиток, орієнтований граф, синтез, AutoCAD

**АННОТАЦИЯ** Процесс разработки конструкции путевого развития железнодорожных станций и узлов сопровождается массовыми и трудоемкими расчетами соединений путей и координат основных точек плана. Значительное улучшение данного процесса достигается за счет использования структурно-параметрических моделей станций в совокупности с методами автоматизированного синтеза станций. В статье рассматриваются модели и алгоритмы графического формирования входной модели станции в среде AutoCAD, значительно сокращающие продолжительность процесса проектирования ее плана.

**Ключевые слова:** железнодорожная станция, путевое развитие, ориентированный граф, синтез, AutoCAD

## SYSTEM FOR AUTOMATED SYNTHESIS OF TRACK DEVELOPMENT RAILWAY STATIONS

**V. MALASHKIN \***

Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,  
Dnepropetrovsk, UKRAINE

**ABSTRACT** The process of design gridiron railway stations and units accompanied by massive and time-consuming calculations compounds ways and coordinates the main points of the plan. Significant improvement of this process is achieved through the use of structural and parametric models (input, internal and output models) stations in conjunction with the automated synthesis methods stations. In this formalization scheme gridiron station is based on a directed graph. **The Aim.** Preparing data input model in the form of lists of characteristic points of the incidence scheme takes considerable time. In this context, the task of developing models and algorithms for interactive graphical form input model of the plant. **Methods of solution.** To solve the problem using the methods of graph theory and analytic geometry. **The Results.** To provide interactive input and editing schemes station designed structure of the input model gridiron based on digraph algorithms build and conversion to the internal model to automatically calculate the coordinates of the station plan. The proposed models and algorithms used in the development of a graphical editor-aided design of railway stations on the basis of AutoCAD. **Conclusions.** Using a graphical editor for automated plant design reduces overall costs up to 60%.

**Keywords:** railway station, gridiron, directed graph, synthesis, AutoCAD

### Вступ

Пропускна і переробна спроможність залізничних станцій і вузлів, ефективність їх експлуатації залежать від раціональності рішень, прийнятих при їх проектуванні. Суттєве підвищення якості проектування, збільшення продуктивності праці проектувальників може бути досягнуте в

результаті впровадження нової інформаційної технології, основою якої є система автоматизованого проектування (САПР). Однією з основних проблем теорії САПР є розробка ефективних математичних моделей об'єктів, які проектуються, і алгоритмів виконання проектних процедур. Це завдання є особливо важливим для проектування залізничних станцій і вузлів, що пояснюється

високою вартістю їх будівництва і реконструкції, тривалим строком експлуатації, неможливістю побудови фізичних моделей.

Слід відзначити, що складність вказаного завдання полягає у формалізації схеми станції і її вихідних параметрів для вводу в ЕОМ (побудова моделі станції) і розробці алгоритму аналізу моделі для розрахунків вихідних параметрів.

Фундаментальні дослідження проблеми автоматизації розрахунків колійного розвитку станцій були виконані в [1]. У даній роботі вперше був розроблений метод кодування схем станцій з використанням теорії графів. При цьому конструкція будь-якої схеми представляється безліччю елементарних циклів (контурів), які виділяються на графі схеми. Розроблений також алгоритм розрахунків координат схеми колійного розвитку станцій, базується на попередніх розрахунках і ув'язкою параметрів елементарних циклів схеми. Розроблена контурна модель станції [1] є універсальною формою представлення інформації про її схему. Вказана модель після автоматичного перетворення може бути використана для рішення широкого класу завдань проектування станцій, зокрема для розрахунків пропускної здатності горловин.

В роботах [2, 3] для розробки моделі колійного розвитку залізничних станцій пропонується використовувати мережі Петрі. Вказана модель застосовується для визначення переробної спроможності станції у різних експлуатаційних умовах. З метою аналізу найбільшої кількості альтернативних варіантів проектних рішень при формалізації колійного розвитку станцій допускаються деякі спрощення, що не завжди гарантує достовірність отриманих результатів моделювання.

У сучасних умовах для формалізації колійного розвитку станцій використовуються новітні математичні методи. Так, в роботі [4] для розробки математичної моделі колійного розвитку залізничного вузла в Шанхаї використані методи нечітких множин та аналізу ієрархій. Автором доведена ефективність використання вказаної моделі для аналізу процесу функціонування залізничного вузла.

Методика математичного опису колійного розвитку залізничних станцій на основі теорії графів розглядається у роботах [5, 6]. Для зберігання структури графів, які використовуються для формалізації схеми станцій, застосовані реляційні бази даних. Такий підхід дозволяє зберігати математичну

модель схеми колійного розвитку не тільки однієї станції, а й цілої мережі.

Автори роботи [7] пропонують блочну структуру моделі колійного розвитку станції. Вказана модель використовується при моделюванні роботи станції і дозволяє контролювати зайнятість елементів її плану.

В результаті аналізу наукових робіт виявляється, що питання синтезу колійного розвитку станцій є досить актуальним, але наведені моделі плану станцій не призначені для вирішення широкого кола наукових задач і є вузькоспеціалізованими.

Структурно-параметричні моделі колійного розвитку залізничних станцій, що розглядаються в [8] є універсальними та мають широке застосування. Вони можуть використовуватися для визначення техніко-технологічних параметрів станцій з використанням їх ергатичних моделей [9] або для кількісної оцінки проектного рішення [10]. Слід відмітити, що структурно-параметричні моделі у сукупності з методами автоматизованого синтезу використовуються для розрахунку конструктивних параметрів планів залізничних станцій. При всіх перевагах даних моделей є основна проблема їх використання, яка пов'язана з відносною складністю формування вхідної моделі станції [8], що потребує додаткових витрат часу.

### Мета роботи

Для підвищення швидкості та зниження вартості проектування залізничних станцій необхідно максимально звільнити проектувальника від виконання рутинних робіт. Одним з ефективних способів організації автоматизованого проектування є інтерактивне введення людиною немасштабної схеми станції з наступним автоматичним розрахунком координат плану колійного розвитку, формуванням креслення та визначенням показників. Отримані результати аналізуються проектувальником і, при необхідності, коригуються.

Таким чином, поставлена задача розробки системи графічного вводу схеми станції для автоматизованого формування її вхідної моделі.

### Основна частина

Вхідна модель станції дозволяє організувати процес вводу в ЕОМ немасштабної схеми залізничної станції, тому

структура її математичної моделі є основою для побудови ефективного графічного редактора, орієнтованого на вирішення даної прикладної задачі. Вхідна модель представлена множиною графічних об'єктів  $\Omega_{\text{вх}}$ , серед яких виділені наступні види: ділянка колії  $\mathbf{e}$ , центр стрілочного переводу  $\mathbf{s}$ , вершина кута повороту  $\mathbf{c}$ , номер колії  $\mathbf{w}$ , міжколійя  $\mathbf{m}$ , світлофор  $\mathbf{l}$ . Кожному об'єкту поставлені у відповідність тип, екранні координати характерних точок  $\mathbf{p}=(x, y)$  і список конструктивних параметрів.

Ділянка колії (об'єкт LINE) представлена структурою

$$\mathbf{e} = \{\mathbf{p}_{\text{еп}}, \mathbf{p}_{\text{ек}}, \mu_e, l\}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{p}_{\text{еп}}, \mathbf{p}_{\text{ек}}$  – відповідно початкова та кінцева точки відрізка;

$\mu_e$  – метод визначення довжини ділянки  $\mathbf{e}$ ;

$l$  – параметр, що характеризує довжину ділянки  $\mathbf{e}$ .

Довжина ділянки колії  $\mathbf{e}$  визначається у відповідності з установленим методом  $\mu_e$  ( $\mu_e \in [0; 6]$ ): 0 – довжина визначається автоматично на основі аналізу схеми; 1 – довжина визначається по різності координат суміжних точок; 2 – довжина визначається чисельним значенням  $l$ ; 3 – довжина визначається шириною міжколійя  $l$ ; 4, 5, 6 – довжина визначається з умови забезпечення корисної довжини  $l$  даної колії парку, відповідно у парному, непарному та в обох напрямках.

Центр стрілочного переводу (об'єкт SWITCH) і вершина кута повороту (об'єкт CURVE) представлені структурами

$$\mathbf{s} = \{\mathbf{p}_s, N_s, m_s, T_s, c_s\}, \quad (2)$$

$$\mathbf{c} = \{\mathbf{p}_c, N_c, r_c, \mu_c, \alpha_c, N_T\}, \quad (3)$$

де  $\mathbf{p}_s, \mathbf{p}_c$  – екранні координати, відповідно, центру стрілочного переводу та вершини кута повороту;

$N_s, N_c$  – відповідно, номер стрілочного переводу та кута повороту кривої;

$m_s$  – марка хрестовини;

$T_s$  – тип рейки;

$c_s$  – наявність електричної централізації;

$\mu_c$  – метод визначення кута (0 – визначається автоматично на основі аналізу схеми, 1 –

задано чисельне значення, 2 – скорочене з'єднання);

$\alpha_c$  – величина кута повороту;

$N_T$  – номер розрахункової вершини при розрахунку параметрів кінцевого з'єднання.

Номер колії (об'єкт WAY) і міжколійя (об'єкт MIDWAY) представлені структурами

$$\mathbf{w} = \{\mathbf{p}_w, N_w\}, \quad (4)$$

$$\mathbf{m} = \{\mathbf{p}_m, g_m\}, \quad (5)$$

де  $\mathbf{p}_w, \mathbf{p}_m$  – екранні координати точок вставки, відповідно, номери колій і міжколійя;

$N_w$  – номер колії;

$g_m$  – ширина міжколійя.

Сигнал (об'єкт SIGNAL) представлений структурою

$$\mathbf{q} = \{\mathbf{p}_q, N_q, d_q, k_q\}, \quad (6)$$

де  $\mathbf{p}_q$  – екранні координати точки вставки сигналу;

$N_q$  – номер сигналу;

$d_q$  – напрямок дії сигналу (0 – в непарному напрямку, 1 – в парному напрямку);

$k_q$  – тип сигналу (0 – мачтовий, 1 – карликовий, 2 – карликовий спарений і ін.).

В пам'яті ЕОМ кожен графічний об'єкт представляється за допомогою асоціативного списку:

$$((a_1, t_1) (a_2, t_2) \dots (a_N, t_N)), \quad (7)$$

де  $a_1 \dots a_N$  – ключі, які представляють собою цифровий код параметрів, що входять до структур (1-6) (див. табл. 1);

$t_1 \dots t_N$  – зв'язані з ключами дані.

На рис. 1 приведено фрагмент схеми станції і відповідний їй список  $\Omega_{\text{вх}}$ .

Таким чином, математична модель  $\Omega_{\text{вх}}$  являє собою список графічних об'єктів, які записуються до нього в порядку вводу схеми в ЕОМ. На цьому етапі виконується розпізнавання графічних об'єктів і модифікація вхідної моделі.

Формування схеми колійного розвитку здійснюється шляхом додавання, видалення і зміни відрізків, що відповідають ділянкам колії в процесі графічного вводу схеми станції. Такий підхід дозволяє прискорити процес вводу схеми в ЕОМ у порівнянні з її

формуванням з окремих примітивів (стрілок кривих і т.д.).

Таблиця 1 – Список цифрових кодів параметрів об'єктів вхідної моделі

Ключ	Параметр	Ключ	Параметр
0	Тип об'єкта	31	$\mu_C$
1	$N_S, N_C, N_w, N_r$	32	$ \alpha_C $
10	Координати точок $\mathbf{p}_{ен}, \mathbf{p}_s, \mathbf{p}_c, \mathbf{p}_w, \mathbf{p}_m, \mathbf{p}_r$	33	$N_T$
11	Координати точки $\mathbf{p}_{ек}$	40	$\mu_e$
20	$m_s$	41	$L$
21	$T_s$	50	$G$
22	$c_s$	60	$d_r$
30	$r_C$	61	$k_r$

Для забезпечення з'єднання відрізків у центрах стрілочних переводів і вершинах кутів повороту реалізується об'єктна прив'язка. На першому етапі здійснюється перевірка ідентичності координат точок  $(x, y)$ , що вводяться, кінцевим точкам  $\mathbf{p}$  існуючих відрізків. Точки вважаються ідентичними у випадку, коли відстань між ними не перевищує

заданої величини погрешності  $\varepsilon$

$$\sqrt{(x(\mathbf{p}) - x)^2 + (y(\mathbf{p}) - y)^2} < \varepsilon, \quad (8)$$

де  $x(\mathbf{p}), y(\mathbf{p})$  – координати існуючих точок.

Далі здійснюється контроль приналежності точок, що вводяться, існують відрізкам. При цьому точка  $A$  вважається приналежною відрізку  $BC$  у випадку, якщо виконуються умови

$$\begin{cases} |l_A^{BC}| < \varepsilon, \\ l_{AB} < l_{BC}, \\ l_{AC} < l_{BC}, \end{cases} \quad (9)$$

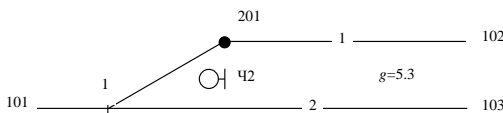
де  $l_A^{BC}$  – відстань (зі знаком) від точки до прямої;

$l_{AB}, l_{AC}$  – відстань від точки  $A$  до кінцевих точок відрізка;

$l_{BC}$  – довжина відрізка  $BC$ .

Розрахункова схема визначення приналежності точки відрізку наведена на рис. 2.

а)



б)

Список	Примітка
((0 SWITCH) (1 1) (10 5 5) (20 0) (21 0) (22 1))	Центр переводу 1
((0 CURVE) (1 201) (10 20 15)(30 300) (31 0) (32 0))	Вершина кута повороту 201
((0 LINE) (10 0 5) (11 5 5)(40 0)(41 0))	Відрізок 101-1
((0 LINE) (10 5 5) (11 50 5)(40 0)(41 0))	Відрізок 1-103
((0 LINE) (10 5 5) (11 20 15)(40 0)(41 0))	Відрізок 1-201
((0 LINE) (10 20 15) (11 50 15)(40 0)(41 0))	Відрізок 201-102
((0 WAY) (1 1) (10 30 15))	Номер колії 1
((0 WAY) (1 2) (10 25 5))	Номер колії 2
((0 MIDWAY) (10 40 10)(50 5.3))	Міжколійя 2-1
((0 SIGNAL) (1 42) (10 20 10) (60 0) (61 0))	Сигнал 42

Рис. 1 – Вхідна модель станції: а - схема колійного розвитку; б - список графічних об'єктів  $\Omega_{вх}$

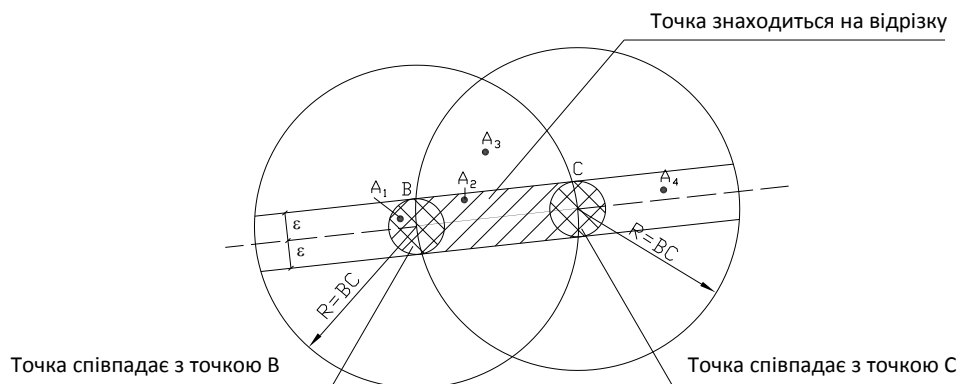


Рис. 2 – Розрахункова схема визначення приналежності точки відрізку

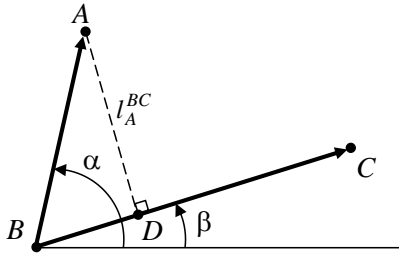


Рис. 3 – Розрахункова схема визначення координат найближчої точки відрізка

Відстань від точки  $A$  до відрізка  $BC$  відповідно до рис. 3 може бути визначена з виразу

$$l_A^{BC} = AB \cdot \sin \angle ABC = AB \cdot \sin(\alpha - \beta), \quad (10)$$

Значення синуса кута  $ABC$  може бути встановлене на підставі координат точок

$$\begin{aligned} \sin(\alpha - \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot \cos \alpha, \\ \sin \alpha &= \frac{y_A - y_B}{BA}, \quad \cos \alpha = \frac{x_A - x_B}{BA}, \\ \sin \beta &= \frac{y_C - y_B}{BC}, \quad \cos \beta = \frac{x_C - x_B}{BC}. \end{aligned}$$

Підставляючи величини у вираження (10) одержуємо:

$$l_A^{BC} = \frac{(y_A - y_B)(x_C - x_B) - (y_C - y_B)(x_A - x_B)}{\sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2}}.$$

Величина  $l_A^{BC}$  приймає негативне значення, якщо точка лежить праворуч від відрізка, позитивне значення, якщо точка лежить ліворуч від відрізка і 0, якщо точка і відрізок належать одній прямій.

У випадку, якщо умова (9) виконується, точка  $A$  переноситься в точку  $D$  на відрізок  $BD$  (див. рис. 3)

$$\begin{aligned} x_D &= \frac{BA}{BC}(x_C - x_B)\cos \angle ABC + x_B, \\ y_D &= \frac{BA}{BC}(y_C - y_B)\cos \angle ABC + y_B, \\ \cos \angle ABC &= \frac{\overline{BA} \cdot \overline{BC}}{BA \cdot BC}. \end{aligned}$$

Через незначність кута  $ABC$ ,  $\cos \angle ABC \approx 1$ , для визначення координат точки  $D$  можуть бути використані спрощені вирази:

$$x_D = \frac{BA}{BC}(x_C - x_B) + x_B, \quad y_D = \frac{BA}{BC}(y_C - y_B) + y_B.$$

Враховуючи, що вершини відрізків, які вводяться, повинні належати безлічі вершин

графу  $G$  колійного розвитку станції визначається їхній ступінь  $i$ , у необхідних випадках, здійснюється модифікація. Приклади різних випадків модифікації вершин моделі при додаванні відрізків наведені в табл. 2, варіанти 1-5. При цьому, у випадку, коли новий відрізок примикає до кінцевої точки існуючого, контролюється величина кута між існуючим відрізком  $AB$  і новим відрізком  $BC$ . Для спрощення мірою величини кута відрізка може бути косинус, який, через прийнятну орієнтацію відрізків, може мати тільки позитивні значення

$$\cos \angle ABC < 1 - \delta, \quad (11)$$

де  $\delta$  – величина похибки.

Якщо дана умова виконується, то в точку  $B$  включається об'єкт CURVE (табл. 2, варіант 2); інакше кінцева точка відрізка  $B$  переміщається в точку  $C$  (табл. 2, варіант 3).

При видаленні відрізка з моделі також визначаються ступені відповідних вершин, і відповідно до них корегується модель (табл. 2, варіант 6-9).

При цьому у випадку видалення відрізків, що примикають до вершини SWITCH, контролюється величина кута нахилу між відрізками, що залишилися,  $AB$  і  $BC$ . У випадку, коли умова (11) виконується, в точку  $B$ , додається об'єкт CURVE (табл. 2, варіант 8); інакше відрізки  $AB$  і  $BC$ , що залишилися, поєднуються в один  $AC$  (табл. 2, варіант 9).

При введенні номерів колій вказуються координати точки вставки номера колії  $p_w$  і визначається її приналежність існуючим горизонтальним відрізкам  $e_i$  за допомогою умов

$$\begin{cases} y(p_{en,i}) = y(p_{ek,i}), \\ x(p_{en,i}) < x(p_w) < x(p_{ek,i}), \\ |y(p_w) - y(p_{en,i})| < \varepsilon. \end{cases} \quad (12)$$

У випадку, якщо зазначена точка не належить жодному з горизонтальних відрізків, фіксується помилка.

При введенні міжколій  $m$  перевіряється наявність горизонтальних відрізків над і під точкою вставки  $p_m$  покажчика міжколій. У випадку відсутності хоча б одного з таких відрізків, фіксується помилка.

На рис. 4 наведений результат графічного введення схеми станції.

Таблиця 2 – Модифікація вхідної моделі станції в процесі введення її графічного зображення

	Номер варіанта	До модифікації	Після модифікації	Дія
Додавання відрізка	1			-
	2			Кут між відрізками більше мінімального: помістити в кінцеву точку об'єкт CURVE
	3			Кут між відрізками менше мінімального: об'єднати відрізки
	4			Видалити в кінцевій точці відрізка об'єкт CURVE і помістити в неї об'єкт SWITCH
	5			Розбити відрізок на два відрізки і помістити в точку об'єкт SWITCH
Видалення відрізка	6			-
	7			Видалити об'єкт CURVE в кінцевій точці відрізка
	8			Кут між відрізками, що залишилися, більше мінімального: видалити об'єкт SWITCH в кінцевій точці відрізка і помістити в неї об'єкт CURVE
	9			Кут між відрізками, що залишилися, менше мінімального: видалити об'єкт SWITCH в кінцевій точці відрізка і з'єднати відрізки, що залишилися

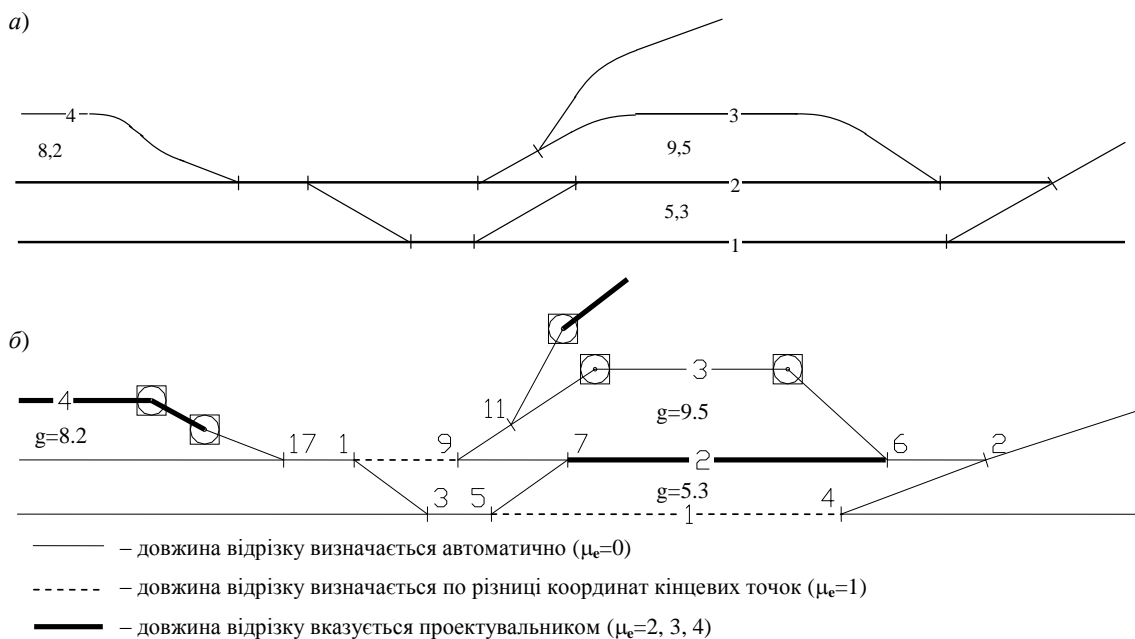


Рис. 4 – Графічний ввід схеми станції: а - схема станції; б - графічне зображення станції

Внутрішня модель колійного розвитку [8] представляється зваженим орієнтованим графом  $G(V, E)$ , вершинами якого є центри стрілочних переводів (ЦП), вершини кутів повороту (ВКП) та кінці колій (КК), а дугами – ділянки колій, що їх з'єднують. В пам'яті ЕОМ граф  $G$  представляється списками інцидентності вершин.

Процес перетворення вхідної моделі у внутрішню виконується автоматично та пов'язаний з розв'язанням наступних задач:

– формування списків інцидентності орієнтованого графа  $G$ ;

– визначення напрямку відхилення колій стрілочних переводів та класифікація примикаючих ділянок, визначення напрямку повороту кругових кривих, визначення положення сигналів відносно стрілочних переводів.

Для формування списків інцидентності виконується аналіз множини колій вхідної моделі станції  $e \in \Omega_{вх}$ . Кінцеві точки ділянок колій сортуються таким чином, щоб абсциси їх початкових точок були меншими за абсциси їх

кінцевих точок. На підставі аналізу списку дуг графа  $G$  формується список його вершин  $(v_1, v_2, \dots, v_n)$ , в якому кожна з них представлена структурою  $v_i=(v_j, v_l)$ , де  $v_j, v_l$  – кінцеві вершини дуг, що виходять з вершини  $v_i$ .

Для ідентифікації типу вершини  $v_i$  розраховується параметр  $t_i=3d^-(v_i)+d^+(v_i)$ . При цьому отриманим значенням  $t_i$  відповідають наступні типи вершин: 1 – лівий КК, 3 – правий КК, 4 – ВКП, 5 – ЦП протишерстної стрілки, 7 – ЦП пошерстної стрілки. Значення 2, 6 та 8 недопустимі та свідчать про наявність помилок у вхідній моделі. Задачі визначення сторонності стрілочних переводів, напрямку повороту кривих та положення сигналів відносно стрілочних переводів розв'язуються методами аналітичної геометрії.

Вихідна модель містить всі необхідні розміри та координати плану колійного розвитку станції і забезпечує його графічну реалізацію у вигляді масштабного креслення. Окрім того, вихідна модель містить дані, які є основою для побудови функціональної моделі залізничних станцій [9].

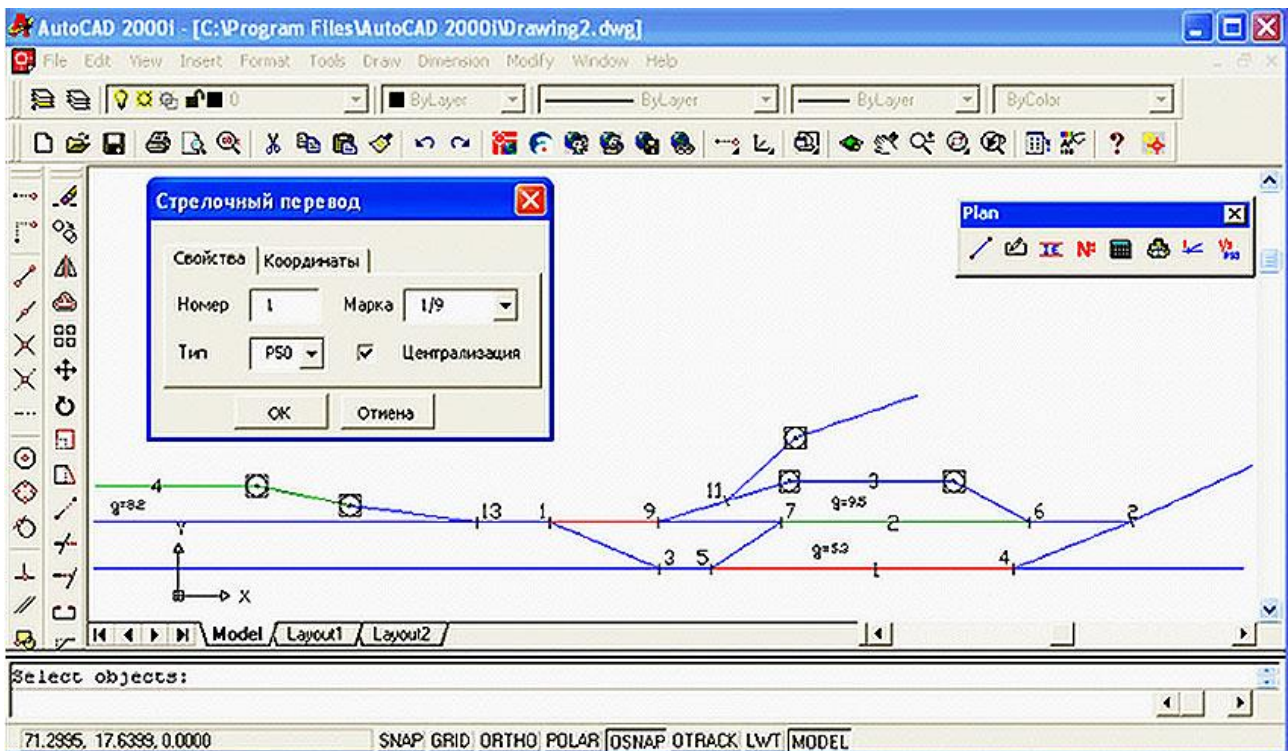


Рис. 5 – Вікно прикладної програми для автоматизованого проектування залізничних станцій

### Висновок

Розроблені моделі та алгоритми реалізовані у вигляді прикладної програми (рис. 5) до пакету автоматизованого

проектування AutoCAD. Робота з розробленим графічним редактором по введенню схем станцій показала його ефективність використання, за рахунок скорочення



загального часу на проектування до 60% в залежності від складності схеми станції.

### Список літератури

- 1 **Мирошніченко, В. М.** О машинном представлении схем крупных железнодорожных станций / **В. М. Мирошніченко** // *Сб. Кибернетика и транспорт*. – М.: Наука, 1968. – С. 178-206.
- 2 **Odiijk, M. A.** A Petri net based simulation tool to evaluate the performance of railway stations / **M. A. Odiijk, W. M. P. van der Aalst** // *Proceedings of the 1994 European Simulation Multiconference*. – 1994. – P. 207-211.
- 3 **W. M. P. van der Aalst.** Analysis of Railway Stations by means of Interval Timed Coloured Petri Nets / **W. M. P. van der Aalst, M. A. Odiijk** // *Real-Time Systems*. – 1995. – № 9(3). – P. 241-263.
- 4 **Yali, Y.** Research on the Interchange Performance of Transportation Hub Based on Yishan Road Station, Shanghai / **Y. Yali, C. Hao, Z. Ruoping** // *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. – 2013. – № 6(23). – P. 4432-4437.
- 5 **Kuckelberg, A.** Graph Databases and Railway Operations Research Requirements / **A. Kuckelberg** // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2015. – Vol. 1330. – P. 183-188.
- 6 **Kuckelberg, A.** Adaptive Rule-Based Infrastructure Modelling / **A. Kuckelberg, B. Seybold** // *Proc. of the 5th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*. – May, 2013.
- 7 **Zwaneveld, P. J.** Routing trains through a railway station based on a node packing model / **P. J. Zwaneveld, L. G. Kroon, S. P. M van Hoesel** // *European Journal of Operational Research*. – 2001, № 128. – P. 14–33.
- 8 **Бобровский, В. И.** Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций: монография / **В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін**. – Дн-вск: Изд-во Маковецький, 2010. – 156 с.
- 9 **Малашкін, В. В.** Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій на основі реалізації раціональної черговості заходів по удосконаленню їх техніко-технологічних параметрів / **В. В. Малашкін** // *Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень»*, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 100-109.
- 10 **Вернигора, Р. В.** Комплексна оцінка конструкції колійного розвитку залізничних станцій на основі методів теорії прийняття рішень / **Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін** // *Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень»*, Вип. 3. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 25-30.

### References

- 1 **Myroshnychenko, V. M.** O mashynnom predstavlenyy skhem krupnykh zheleznodorozhnykh stantsyi. *Sb. Kybernetyka y transport*, 1968, 178-206.
- 2 **Odiijk, M. A., W. M. P. van der Aalst.** A Petri net based simulation tool to evaluate the performance of railway stations. *Proceedings of the 1994 European Simulation Multiconference*, 1994, 207-211.
- 3 **W. M. P. van der Aalst, Odiijk, M. A.** Analysis of Railway Stations by means of Interval Timed Coloured Petri Nets. *Real-Time Systems*, 1995, 9(3), 241-263.
- 4 **Yali, Y., Hao, C., Ruoping, Z.** Research on the Interchange Performance of Transportation Hub Based on Yishan Road Station, Shanghai. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, 6(23), 4432-4437.
- 5 **Kuckelberg, A.** Graph Databases and Railway Operations Research Requirements. *CEUR Workshop Proceedings*, 2015, 1330, 183-188.
- 6 **Kuckelberg, A., Seybold, B.** Adaptive Rule-Based Infrastructure Modelling. *Proc. of the 5th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, 2013.
- 7 **Zwaneveld, P. J., Kroon, L. G. and van Hoesel, S. P. M.** Routing trains through a railway station based on a node packing model. *European Journal of Operational Research*, 2001, 128, 14–33.
- 8 **Bobrovskiy, V. Y., Kozachenko, D. N., & Vernyhora, R. V., Malashkyn, V. V.** Modely, metody y alhorytmy avtomatyzirovannoho proektyrovanyia zheleznodorozhnykh stantsyi. Dnepropetrovsk, 2010.
- 9 **Malashkin, V. V.** Improve the functioning of the railway station through the implementation of rational prioritize the improvement of their technical and technological parameters. *Zb. nauk. prats DNUZT: Seriiia «Transportni systemy i tekhnolohii perevezen»*, 2014, 8, 100-109.
- 10 **Vernyhora, R. V., Malashkin V.V.** Complex estimation to designs of the railway stations schemes, which is based on the methods of the theory of decisions making. *Zbirnyk naukovykh prats DNUZT: Seriiia «Transportni systemy i tekhnolohii perevezen»*, 2012, 3, 25-30.

Надійшла (received) 20.03.2015

УДК 004.62

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ ЦЕХОВОГО РІВНЯ ВИРОБНИЦТВА

**Т. В. БОДНЕНКО**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, УКРАЇНА  
email: bod\_t@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Стаття присвячена процесам автоматизації типових задач цехового рівня виробництва. Адже виникає потреба у модернізації та розробці нових стендів з використанням сучасної мікропроцесорної техніки, вивченні сучасних пакетів програм програмування промислових контролерів та програм для моніторингу стану обладнання. Цього можна досягти використовуючи програмовані логічні контролери (Programmable Logic Controller).

**Ключові слова:** автоматизації типових задач цехового рівня виробництва, середовище програмування інтелектуального реле Zelio Logik.

**АННОТАЦИЯ** Статья посвящена процессам автоматизации типовых задач цехового уровня производства. Ведь возникает потребность в модернизации и разработке новых стендов с использованием современной микропроцессорной техники, изучении современных пакетов программ программирования промышленных контроллеров и программ для мониторинга состояния оборудования. Этого можно достичь используя программируемые логические контроллеры (Programmable Logic Controller).

**Ключевые слова:** автоматизации типовых задач цехового уровня производства, среда программирования интеллектуального реле Zelio Logik.

## AUTOMIZATION TYPICAL PROBLEM OF PRODUCTION GUILD ANNOTATION

**T. BODNENKO**

Educational and Research Institute of Physics, Mathematics and Computer Information Systems Cherkasy National University named after Bogdan Khmelnytsky, Cherkasy, UKRAINE

**ABSTRACT** Nowadays the question is upgrading and replacing existing relay control systems modern industrial microprocessor systems, in particular, to automate common tasks of craft production. In this regard, the need to modernize and develop new stands on a modern microprocessor technology, improving the methods of working with them, the study of modern software packages programming controllers and software for monitoring equipment, process automation of common tasks of craft production. This can be achieved using programmable logic controllers (Programmable Logic Controller).

Conducted studies aimed to examine the state of modern computer technology to automate common tasks guild level of production, including reviewing the available modern technology to automate common tasks craft production levels and identify areas using modern technology to automate common tasks of craft production.

There is the key areas of improvement of production is the creation and effective use of automated systems, which are based on extensive use of electronic computers (computers) that allows you to automate common tasks in the workplace.

In the process of automating common tasks craft production levels can be used programmable logic controllers (Programmable Logic Controller).

There is an example of automating common tasks of craft production using programmable logic controller Zelio Logik.

**Keywords:** automation of common tasks in production shop, electronic device programming environment intelligent relay Zelio Logik.

### Вступ

У процесі виготовлення продукції кожне виробництво використовує велику кількість різноманітних промислових механізмів, які працюють більше десятиліття і фізично й морально застаріло. Тому, сьогодні стоїть

питання модернізації та заміни існуючих релейних систем керування сучасними промисловими мікропроцесорними системами. Упровадження нової мікропроцесорної техніки потребує нових знань та умінь обслуговуючого

© Т. В. БОДНЕНКО, 2015

персоналу. Тому, повинна проходити модернізація та розробка нових стендів з використанням сучасної мікропроцесорної техніки, удосконалення методик роботи на них, вивчення сучасних пакетів програм програмування промислових контролерів та програм для моніторингу стану обладнання, проведення процесу автоматизації типових задач цехового рівня виробництва [1].

### Мета роботи

Проведені дослідження ставили за мету розглянути стан використання сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації типових задач цехового рівня виробництва.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– проаналізувати стан наявних сучасних технологій для автоматизації типових задач цехового рівня виробництва;

– визначити напрямки використання сучасних технологій для автоматизації типових задач цехового рівня виробництва.

### Викладення основного матеріалу

Сучасний технологічний процес у виробництві базується на автоматизації технологічних процесів, яка успішно впроваджується в розвиток людства. Його основна мета – підвищення показників ресурсозберігання, покращення екології навколишнього середовища, якості та надійності продукції. Результатом цього є розвитком мікропроцесорної техніки і персональних електронно-обчислювальних машин, функціональні можливості яких надають можливість застосовувати найдосконаліші методи роботи в рамках сучасних складних систем управління. Мікропроцесорні пристрої та електронно-обчислювальні машини, знаходяться у тісному зв'язку між обчислювальними та керуючими мережами у процесі використання основних баз даних, які надають можливість впроваджувати комп'ютерні технології у нетрадиційній сфері діяльності підприємства, що виявляється в інтеграції виробничих процесів та управління ними [2].

Поняття автоматизації полягає у застосуванні автоматичних (самодіючих) технічних пристроїв з метою виконання функцій керування технологічними процесами виготовлення продукції без безпосередньої участі людини. Під час автоматизації процеси

отримання, перетворення та використання енергії, матеріалів або інформації виконуються автоматично без участі людини. В залежності від ступеню автоматизації систем керування розрізняють системи автоматизовані, в яких частину функцій керування виконує людина, та системи автоматичні, що функціонують без участі людини в процесі керування [3].

Автоматизація процесів різних галузей виробництва є основою розвитку виробництва, є однією з основних закономірностей розвитку техніки на сучасному етапі.

Організаційна структура цеху характеризується за типом виробництва, технічним рівнем і складністю продукції, що випускається, чисельністю найманих робітників, рівнем механізації та автоматизації виробництва й іншими факторами, які пов'язані з галузевими особливостями. Організаційна структура виробництв керується галузевими нормативами чисельності цехів основного і допоміжного виробництва., на яку впливає ступінь централізації функцій управління на даному підприємстві [4].

Одним з вирішальних напрямків удосконалення роботи виробництва є створення й ефективне використання автоматизованих систем, який базуються на широкому використанні електронних обчислювальних машин (ЕОМ), що надає можливість автоматизувати типові задачі на виробництві [5].

Отже, автоматизація виробництва повинно постійно пристосовуватися до нових технік та технологій, завдяки чому буде збільшуватися ефективність роботи, що сприятиме поліпшенню умов праці робітників, вплине на продуктивність праці. У зв'язку з цим потрібно оновлювати технікою і сучасними комп'ютерними та інформаційними технологіями, автоматизувати задачі цехового рівня виробництва, завдяки чому сучасне виробництво стане конкурентоспроможним та провідним на сучасному ринку.

Основним напрямом автоматизації в агропромисловому комплексі на сучасному етапі є створення комп'ютерно-інтегрованих виробництв. Основою систем автоматизації стали функціональні можливості мікропроцесорних систем управління. У процесі їх створення головними факторами є використання принципів інтеграції, розподіленого управління, програмних комплексів. Під час автоматизації виробництва об'єктом є технологічний комплекс із

складними взаємозв'язками між його підсистемами [6].

Автоматизація – це площа управління операціями, яка пов'язана з проектуванням та управлінням процесів виробництва, реорганізації бізнес-операцій у процесі виробництва товарів або послуг. Вона є ефективною з точки зору використання мінімуму ресурсів в міру необхідності, і ефективним з точки зору задоволення потреб клієнтів. Це пов'язано з управлінням процесом, який перетворює вхідні (у формах сировини, робочої сили та енергії) у вихідні (у вигляді товарів або послуг) відносини управління операціями [7].

Удосконалити та покращити оперативність управління, враховуючи виробничу ситуацію надає змогу розширення функціональних можливостей сучасних мікропроцесорних систем управління, що полягає у зростанні кількості видів та систем відображення технологічної інформації (використання динамічних мікросхем, отримання графіків технологічних параметрів за будь-який проміжок часу, формування процесу розвитку, зберігання звітної документації у таблицях тощо).

Враховуючи системний підхід автоматизації виробництва можна отримати кращі результати. Це стосується досконалого вивчення властивостей об'єкта автоматизації, створенні функціональної структури у вигляді сукупностей системних функцій.

У процесі автоматизації типових задач цехового рівня виробництва використовують програмовані логічні контролери (*Programmable Logic Controller (PLC)*).

Програмований логічний контролер, (програмований контролер цифровий(ПЛК)) використовується для автоматизації, як правило, промислових електромеханічних процесів, таких як контроль машин на заводі складальних ліній, атракціонів, або світильники. ПЛК використовуються в багатьох галузях промисловості і машин, призначений для багаторазового аналогових і цифрових входів і виходів домовленостей, широкому діапазоні температур, стійкість до електричних перешкод і стійкість до вібрації і ударів. Програми для керування роботою машини зазвичай зберігаються в незалежній резервній копії або незалежній пам'яті. ПЛК приклад «жорсткого» реального часу системи, оскільки виводить результати, які повинні бути отримані у відповідь на вхідні умови протягом обмеженого часу [8].

Програмований логічний контролер (англ. *Programmable Logic Controller (PLC)*) – електронний пристрій, який використовується для автоматизації технологічних процесів таких як, управління конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання верстатами з числовим програмним керуванням тощо. Він є спеціалізованим комп'ютером реального часу, який розроблений на основі мікроконтролера. Його відмінністю від комп'ютерів загального призначення є значна кількість пристроїв вводу-виводу для датчиків та виконавчих пристроїв, а також можливість надійної роботи при несприятливих умовах (широкий діапазон температур, висока вологість, сильні електромагнітні завади, вібрації тощо) [9].



Рис. 1 – Програмований логічний контролер Zelio Logik

Основним принципом дії ПЛК є циклічна робота, де контролер виконує по черзі окремі команди у послідовності, в якій вони записані у програмі. На початку кожного циклу програма зчитує "картину" стану входів контролера та записує їх стани (таблиця стану входів процесу). Після виконання всіх команд і визначення (підрахунку) актуального для даної ситуації стану виходів, контролер вписує стани виходів до пам'яті, що є таблицею стану виходів процесу. Операційна система виставляє відповідні сигнали на виходи, що керують виконавчими механізмами. Далі, всі сигнальні комбінації подаються у вхідний модуль контролера, програма відслідковує їх картину та реагує зміною станів виходів на основі закладеного алгоритму. Цикл роботи ПЛК виглядає як послідовність кроків:

автодіагностика, зчитування входів, виконання програми, комунікаційні завдання, встановлення станів виходів [9].

ПЛК складаються з:

- модуля центрального процесора (CPU);
- модуля аналогових виходів;
- модуля аналогових входів;
- модуля комунікацій;
- модуля дискретних виходів;
- модуля дискретних входів;
- модуля керування осями;
- модуля лічильників;
- спеціальних модулів;
- блоків пам'яті ROM, PROM, EPROM, EEPROM [10].

Фірмами, що випускають ПЛК, надається разом з ними середовище програмування, яке надає можливість писати прикладне програмне забезпечення однією або декількома мовами програмування.

Завдяки спеціального вбудованого інтерфейсу та прикладної програми, що встановлюється на персональний комп'ютер, можна запрограмувати логічний контролер в залежності від необхідних умов його роботи та відповідного поставленого завдання [11].

Програмна оболонка ZelioSoft2 створена для програмування модулів інтелектуальних реле Zelio другої та третьої серій (SR2, SR3), завантаження програми користувача до модуля або зчитування, встановлення параметрів функціональних блоків модуля, роботи з модулем у режимі моніторингу [12].

Програмна оболонка ZelioSoft 2 забезпечує виконання допоміжних та сервісних функцій [13].

Програмувати модуль інтелектуального реле можна з титульної (фронтальної) панелі без використання ZelioSoft2, але цей спосіб менш ефективний і застосовується лише на віддалених об'єктах із-за відсутності персонального або портативного переносного комп'ютера [14].

Для комунікації (зв'язку) комп'ютера з модулем необхідно виконати апаратне з'єднання СОМ-порту комп'ютера з послідовним портом модуля. Для цього використовується спеціальний кабель зв'язку [13].

Середовище програмування інтелектуального реле Zelio logic [15] та програми керування можна використовувати для автоматизації таких типових задач цехового рівня виробництва [16], як:

### Задача 1:

При збагаченні уранових руд використовується така схема тестування установки збагачення: установка дозволяє тестувати себе кожного дня з 900 до 915, в інший час горить червона лампа про неможливість тестування. У той час, коли червона лампа не горить, оператор сідає за пульт і нажимає кнопку "Тестування". Після цього повинно прийти чотири сигнали з датчиків, що повинно нам сказати про працездатність системи в цілому і готовність її до подальшої роботи. Якщо через 15 секунд після натискання кнопки "Зміна параметрів" не прийшло чотири сигнали, то повинна з'явитися табличка про несправність датчика, в іншому випадку нічого не з'являється. Реалізувати програму для інтелектуального реле. (вважати, що сигнали з датчиків приходять на один вхід).

На рис. 2 представлено лістинг створеної програми задачі 1.

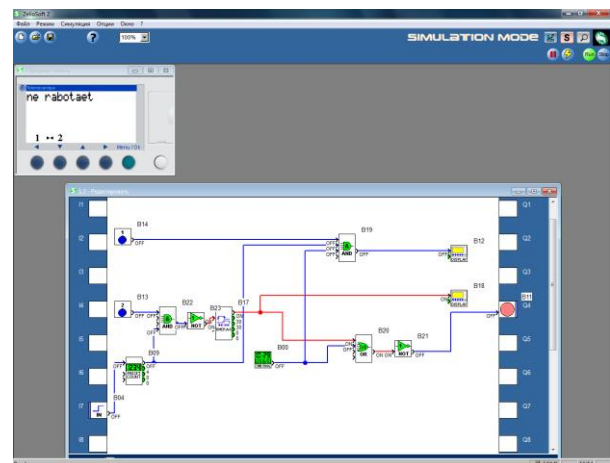


Рис. 2 – Лістинг створеної програми

### Задача 2:

Абсолютно автоматизоване підприємство охороняється приватною охороною. Пожежна охорона забезпечується приватною пожежною частиною. Охорона працює у будні з 2000 до 500, а в вихідні цілодобово; пожежна охорона працює кожного дня цілодобово. Охорона прийде на допомогу тільки у часи своєї роботи. Коли до підприємства потрапляє злодій, то його зразу ж реєструють датчики і в охорони починає блимати лампа. Тоді наряд зразу ж виїжджає. Коли ж трапляється пожежа (а це реєструється датчиком диму при перевищенні рівня диму за

встановлену), то через 15 хвилин після початку приїжджає пожежна машина. У момент її приїзду відчиняється спеціальна брама. Зробити програму для інтелектуального реле (врахувати те, що лампа блимає).

Результатом виконання задачі в ZelioSoft є зображення на комп'ютері показано на рис.3.

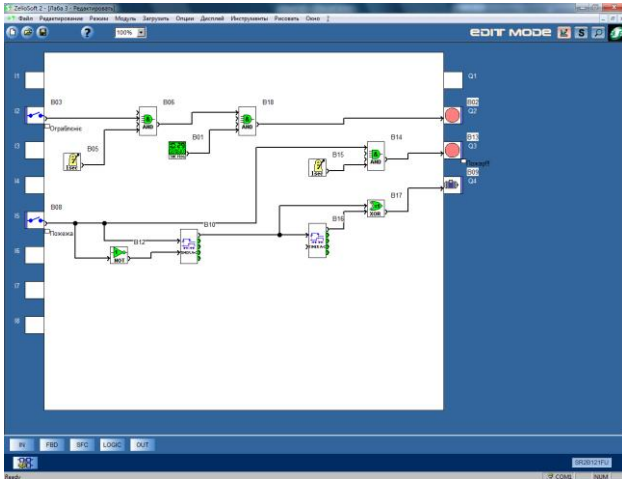


Рис. 3. Схема на реле Zelio

На рис 2 та рис. 3 наочно представлено автоматизацію типових задач цехового рівня виробництва з використанням програмованого логічного контролера Zelio Logik.

Завдяки використанню програмованого логічного контролера Zelio Logik можна автоматизувати багато задач цехового рівня, завдяки чому відбудеться поліпшення людської праці та буде автоматизовано безліч процесів виробництва, що призведе до поліпшення роботи виробництва.

### Обговорення результатів

Нині існує безліч сучасних технологій, завдяки яким можна удосконалювати роботу сучасного виробництва, зокрема процесу автоматизації типових задач цехового рівня на виробництві.

Такі задачі можна автоматизувати за допомогою програмованого логічного контролера Zelio Logik. Він використовується для автоматизації технологічних процесів таких як, управління конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання верстатами з числовим програмним керуванням тощо. Він є спеціалізованим комп'ютером реального часу, який розроблений на основі мікроконтролера. Він відрізняється від комп'ютерів загального призначення значною кількістю пристроїв

вводу-виводу для датчиків та виконавчих пристроїв та можливістю надійної роботи при несприятливих умовах.

Отже, використання програмованого логічного контролера Zelio Logik для автоматизації типових задач цехового рівня виробництва надасть можливість працювати з підвищеною ефективністю та високими результатами.

### Висновки

Проаналізовано стан наявних сучасних технологій для автоматизації типових задач цехового рівня виробництва та визначені напрямки використання сучасних технологій для автоматизації типових задач цехового рівня виробництва.

Було розглянуто середовище програмування інтелектуального реле.

Представлено приклади автоматизації типових задач цехового рівня виробництва за допомогою програмованого логічного контролера Zelio Logik.

Отже, використання сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих процесів надасть можливість підвищити продуктивність роботи та суттєво скоротить терміни виготовлення виробів на виробництві.

### Список літератури

1. **Горобець, М. Коротков, А.** Logic проект учебного лабораторного стенда керування крановим механізмом від інтелектуального реле Zelio / **М. Горобець, А. Коротков** - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – <http://uran.donetsk.ua/~masters/2009/eltf/gorobets/1ibrary/work.htm>.
2. **Bolton W.** Programmable Logic Controllers. Fourth Edition / **W. Bolton**, 290 p.
3. Автоматичне керування зварюванням - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – [http://library.weld.kpi.ua/sites/default/files/akz\\_zaochn.pdf](http://library.weld.kpi.ua/sites/default/files/akz_zaochn.pdf).
4. Організаційна структура - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – [http://ua-referat.com/%Цех\\_-\\_виробничий\\_підрозділ\\_підприємства](http://ua-referat.com/%Цех_-_виробничий_підрозділ_підприємства).
5. Автоматизація технологічної підготовки виробництва - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – [http://pidruchniki.com/19940412/ekonomika/avtomatizatsiya\\_tehnologichnoyi\\_pidgotovki\\_virobnitstva#428](http://pidruchniki.com/19940412/ekonomika/avtomatizatsiya_tehnologichnoyi_pidgotovki_virobnitstva#428).

6. Напрямки та шляхи розвитку автоматизації виробничих систем - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – [http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav011/011.html#pic1\\_1](http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav011/011.html#pic1_1).
7. Great Operations: What is Operations Management. Retrieved on July 3, 2013 from.
8. Programmable logic controller [http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller).
9. Програмований логічний контролер. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – <http://uk.wikipedia.org/wiki>.
10. **Wayne Bequette**. Process Dynamics: Modeling, Analysis and Simulation./ **W. Wayne Bequette**, Rensselaer Polytechnic Institute, NY: Prentice Hall, 1998, 640 pp.
11. Лабораторні стенди Zelio Logic компанії Schneider Electric. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – <http://diitaep.dp.ua/index.php/zelio-logic>.
12. Telemecanique Zelio Logic Logically advanced!... <http://www.farnell.com/datasheets/51770.pdf>.
13. Руководство пользователя «Интеллектуальное реле Zelio Logic», 2006. – 32 с.
14. Zelio Logic - 10 to 40 I/O <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3920-controllers-plc-for-commercial-machines/531-zelio-logic/>.
15. Smart relays Zelio Logic Your advanced solution! <http://static.schneider-electric.us/docs/Machine%20Control/Relays%20and%20Timers/Relays-Logic/SR2%20SR3/DIA3ED1030801ENUS.pdf>.
16. **Bryan, L.A.** Programmable controllers: theory and implementation/ **L.A. Bryan, E.A. Bryan**.— 2 nd ed. p. cm.1047.
3. Automatic control of welding. Available at : [http://library.weld.kpi.ua/sites/default/files/akz\\_zaochn.pdf](http://library.weld.kpi.ua/sites/default/files/akz_zaochn.pdf).
4. Organizational Structure . Available at : [http://ua-referat.com/%Цех\\_-\\_виробничий\\_підрозділ\\_підприємства](http://ua-referat.com/%Цех_-_виробничий_підрозділ_підприємства).
5. Automation of technological preparation of production. Available at : [http://pidruchniki.com/19940412/ekonomika/avtomatizatsiya\\_tehnologichnoyi\\_pidgotovki\\_virobnitstva#428](http://pidruchniki.com/19940412/ekonomika/avtomatizatsiya_tehnologichnoyi_pidgotovki_virobnitstva#428).
6. Areas and the development of automation production systems. Available at: [http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav011/011.html#pic1\\_1](http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav011/011.html#pic1_1).
7. Great Operations: What is Operations Management. Retrieved on July 3, 2013 from.
8. Programmable logic controller [http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller).
9. Programmable Logic Controller. Available at : <http://uk.wikipedia.org/wiki>.
10. **Wayne Bequette**. Process Dynamics: Modeling, Analysis and Simulation./ **W. Wayne Bequette**, Rensselaer Polytechnic Institute, NY: Prentice Hall, 1998, 640 pp.
11. Laboratory stands Zelio Logic company Schneider Electric. Available at : <http://diitaep.dp.ua/index.php/zelio-logic>.
12. Telemecanique Zelio Logic Logically advanced!... <http://www.farnell.com/datasheets/51770.pdf>.
13. USER MANUAL "Yntelektualnoe relay Zelio Logic», 2006. – 32с.
14. Zelio Logic - 10 to 40 I/O <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3920-controllers-plc-for-commercial-machines/531-zelio-logic/>.
15. Smart relays Zelio Logic Your advanced solution! <http://static.schneider-electric.us/docs/Machine%20Control/Relays%20and%20Timers/Relays-Logic/SR2%20SR3/DIA3ED1030801ENUS.pdf>.
16. **Bryan, L.A.** Programmable controllers: theory and implementation/ **L.A. Bryan, E.A. Bryan**.— 2 nd ed. p. cm.1047.

#### References

1. **Gorobets, M., Korotkov, A.** Logic project management training laboratory stand crane mechanism of intelligent relay Zelio. Available / **M. Gorobets, A. Korotkov** // Available at :<http://uran.donetsk.ua/~masters/2009/eltf/gorobets/library/work.htm>.
2. **Bolton W.** Programmable Logic Controllers. Fourth Edition / **W. Bolton**, 290 p.

Надійшла (received) 25.03.2015

УДК 656.13

## МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ УТОМЛЯЕМОСТИ ПАССАЖИРОВ ПРИГОРОДНОГО СООБЩЕНИЯ

Т.М. ГРИГОРОВА, Ю.А. ДАВИДИЧ, В.К. ДОЛЯ

ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, Харьков, УКРАИНА  
\*email: tagrigorova@yandex.ru

**АННОТАЦИЯ** У даній роботі проведено аналіз впливу параметрів перевезення пасажирів у приміському сполученні на транспортну стомлюваність пасажирів. Для оцінки рівня стомлюваності пасажирів під час поїздки пропонується використовувати показник активності регуляторних систем пасажирів. З використанням методів регресійного та кореляційного аналізу були розроблені моделі зміни показника активності регуляторних систем пасажирів при поїзді. Отримана модель може бути використана при організації транспортного обслуговування мешканців передмістя.

**Ключові слова:** приміське сполучення, пересування, пасажир, фактор, транспортна втомиваність коефіцієнт кореляції.

**АННОТАЦИЯ** В данной работе проведен анализ влияния параметров перевозки пассажиров в пригородном сообщении на транспортную утомляемость пассажиров. Для оценки уровня утомляемости пассажиров во время поездки предлагается использовать показатель активности регуляторных систем пассажира. С использованием методов регрессионного и корреляционного анализа были разработаны модели изменения показателя активности регуляторных систем пассажира при поездке. Полученная модель может быть использована при организации транспортного обслуживания жителей пригорода.

**Ключевые слова:** пригородное сообщение, передвижение, пассажир, фактор, транспортная утомляемость коэффициент корреляции.

## MONITORING INFLUENCE OF PARAMETERS TRAVEL TO CHANGE THE TRANSPORT OF PASSENGERS FATIGUE COMMUTER

T. GRIGOROVA, Y. DAVIDICH, V. DOLYA

Kharkiv National University Urban Economy. A.N.Beketov, Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** This article discusses the use of the index evaluation fatigue transport passengers with the task of organizing the transport of passengers in suburban and are some of the results of research in this area. The main objective of the study is to identify the patterns of influence of the conditions of passengers travel on their transport fatigue. The use of statistical methods for estimation of complex objects allows the design process the carriage of passengers on suburban routes to take into account the interests of both carriers and passengers. This article discussed the method of estimating the fatigue passenger transport by determining the activity of regulatory systems of his body. These processing results of field studies have established the effect of age of the passenger, time and conditions of the trip, as well as ergonomic parameters of the vehicle on the value of the index of activity of regulatory systems of the passenger. Using the methods of regression and correlation analysis were developed model the change in the activity of the regulatory systems of the passenger trip and held their statistical evaluation. The resulting models allow us to assess the change in the transport of passengers fatigue while riding in a vehicle with different conditions. This makes it possible to assess the various options for the design process the carriage of passengers on suburban routes. The research results can be applied specialists transporters involved in the organization of passenger transportation in suburban.

**Keywords:** commuter, travel, passenger factor, transport fatigue correlation coefficient.

### Введение

Проектирование систем управления пригородного пассажирского транспорта является одной из основных задач, стоящих перед транспортными службами областных администраций. Система организации

транспортного обслуживания жителей пригорода находится в стадии реорганизации и не отвечает современным требованиям управления транспортными комплексами, которые являются составляющими общей социально-экономической инфраструктуры

© Т.М. ГРИГОРОВА, Ю.А. ДАВИДИЧ, В.К. ДОЛЯ, 2015



региона. Вследствие этого, оптимизация параметров транспортной системы перевозки пассажиров в пригородном сообщении невозможна без оптимизации параметров технологического процесса с учетом интересов как перевозчиков, так и пассажиров.

### **Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Для обеспечения необходимого качества автобусных перевозок транспортники предусматривают рациональную организацию движения подвижного состава на основе выявления и применения технических, эксплуатационных, экономических, организационных и других закономерностей перевозочного процесса. Основным фактором, определяющим все параметры технологического процесса, являются величина пассажиропотока [1, 2]. Пассажиропотоки, в свою очередь, являются результатом соотношения спроса и предложения рынка транспортных услуг. Это соотношение определяется поведением пассажира [2]. Для описания выбора пассажиров используются несколько подходов [3-7]. Первый основывается на рассмотрении частоты обслуживания [3], второй - на расписании [4]. Наиболее подходящим для описания процесса формирования пассажиропотоков на маршрутах пригородного сообщения является второй подход, который используется при низкой частоте обслуживания. Модели формирования потоков на сети общественного транспорта, в которых время передвижения принимается постоянным, могут оказаться полезными при изучении сетей с низкой загрузкой. В то же время они не дают возможности получить адекватные результаты при моделировании пассажиропотоков в сетях, для которых характерен эффект переполнения [5]. Методом, учитывающий указанные обстоятельства являются равновесное распределение. Указанные модели в полном объеме не учитывают влияние условий передвижения на выбор пассажирами пути следования, в том числе показатели качества передвижения, которые отражаются на транспортной утомляемости пассажиров. Основными показателями качества перевозок пассажиров являются: условия проезда, характеризующиеся степенью наполнения автобуса; регулярность движения

транспортных средств; время, затрачиваемое пассажирами на передвижение; безопасность движения; степень пересадочности. Все эти факторы имеют разную значимость в зависимости от условий передвижения [2]. Исследователи отмечают, что затраты времени пассажиров на передвижение можно определить как сумму затрат времени на выполнение следующих элементов передвижения пассажиров [1, 8]: пешеходного движения от пункта отправления до остановочного пункта или от остановочного пункта до пункта назначения; ожидания транспорта на остановочном пункте; движения в транспортном средстве. Причем, все эти элементы можно выполнять при различных условиях. Так, например, поездку можно осуществлять как сидя, так и стоя в салоне транспортного средства. Оценив влияние каждого элемента передвижения на уровень утомляемости пассажиров можно определить параметры технологии перевозок, которые минимизируют транспортную утомляемость пассажиров.

Все технологические параметры перевозки влияют на экономические и социальные показатели качества транспортного обслуживания. По данным исследователей, изучение и проектирование систем, где человек и транспортное средство образуют единый контур регулирования, создали необходимые предпосылки для объединения технических дисциплин и наук о человеке и его трудовой деятельности, обусловили появление новых исследовательских задач. Во-первых, это задачи, связанные с описанием характеристик человека, как компонента транспортной системы. Для обеспечения эффективности производственной деятельности пассажира на основном производстве важное значение имеют такие факторы, как утомление, условия работы, физические факторы окружающей среды, биомеханические и физиологические факторы [9]. Одним из факторов, влияющим на производительность труда человека, является транспортная утомляемость, которая определяется длительностью поездки и степенью ее комфортности. Показатели экономии сил, затрачиваемых пассажиром при поездке, в настоящее время не нормируются. Однако транспортная утомляемость заметно снижает производительность труда в народном хозяйстве, что позволяет говорить о внесистемном эффекте совершенствования

обслуживания пассажиров, прежде всего в пригородном сообщении.

### Цель работы

Целью данной работы является математическая формализация влияния параметров перевозки в пригородном сообщении на изменение транспортной утомляемости пассажиров.

### Методика проведения экспериментов

Критерий эффективности совершенствования системы перевозки пассажиров в пригородном сообщении общественным транспортом должен учитывать интересы, как пассажира, так и автотранспортного предприятия. Это возможно формализовать следующим образом:

$$\mathcal{E} = D_{ТП} - Z_{ТП} - C_{П} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $D_{ТП}$  - доходы транспортных предприятий от перевозки пассажиров;

$Z_{ТП}$  - расходы транспортных предприятий на организацию процесса перевозок;

$C_{П}$  - стоимостное выражение затрат общества в результате транспортного процесса.

Доходы и расходы транспортных предприятий определяются применяемой технологией перевозки. Стоимостное выражение затрат общества вследствие транспортного процесса можно определить с позиций эргономики, рассматривая развитие транспортной утомляемости в процессе выполнения передвижения.

Для достижения поставленной цели было проведено обследование параметров поездки и транспортной утомляемости пассажиров. Для оценки транспортной утомляемости был использован интегральный критерий оценки функционального состояния человека - показатель активности регуляторных систем [10]. Он отражает общую реакцию организма на воздействие факторов внешней среды. Данный показатель характеризует напряжение информационных каналов регуляции в организме человека, реакцию этих каналов на воздействие факторов внешней среды. Он определяется путем обработки электрокардиограммы человека и измеряется в баллах, по которым

можно определить в каком состоянии он находится: до 3 баллов - нормальное состояние; от 3 до 6 баллов - состояние напряжения; от 6 до 8 баллов - состояние перенапряжения; от 9 до 10 баллов - состояние истощения. При проведении обследований у пассажиров при перемещении в пригородном сообщении фиксировалась электрокардиограмма и одновременно определялись параметры поездки.

Среди всех методов, которые позволяют проводить математическое описание изменения показателя активности регуляторных систем пассажиров пригородного транспорта, были выбраны методы регрессионного и корреляционного анализа [11]. В результате расчетов были получены модели изменения этого показателя при проезде сидя и стоя в салоне транспортного средства пригородного сообщения. Факторы, которые используются в моделях, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Границы варьирования факторов

Фактор	Обозначение, размерность	Границы варьирования
Показатель активности регуляторных систем до начала поездки сидя	$P_{до}^{dc}$ , баллы	1-8,9
Показатель активности регуляторных систем до начала поездки стоя	$P_{до}^{cm}$ , баллы	1-10
Возраст пассажира	$B_n$ , годы	18-60
Время поездки сидя	$t_{\delta}^c$ , мин.	2-30
Время поездки стоя	$t_{\delta}^{cm}$ , мин.	1-22
Коэффициент использования вместимости	$\gamma$	0,31-0,91
Отношение стоимости нового автобуса к номинальной вместимости	$C/N_m$ , тыс. дол./пас	0,63-3,33

Для поездки сидя модель имеет следующий вид:

$$P_{после}^{dc} = 0,06 \cdot ((P_{до}^{dc})^{1,1} \cdot (2 \cdot \log(B_n))) - 1,06 \cdot ((32,57 / t_{\delta}^c) / (-0,9 \cdot \sqrt{C/N_m})) \quad (1)$$

Для поездки стоя модель имеет следующий вид:

$$I_{\text{после}}^{\text{дсм}} = 0,03 \cdot ((I_{\text{до}}^{\text{дсм}})^2 \cdot (\log(B_n))) + 0,13 \cdot (\gamma \cdot t_{\text{д}}^{\text{см}}) \cdot (2,8 / \zeta / N_m) \quad (2)$$

Оценка статистической значимости модели проводилась с использованием критерия Фишера, коэффициента множественной корреляции и средней ошибки аппроксимации, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Результаты оценки модели

Показатель	Значение	
	для поездки сидя	для поездки стоя
Критерий Фишера: табличный расчетный	2,09 552,99	2,09 21,89
Коэффициент множественной корреляции	0,99	0,94
Средняя ошибка аппроксимации, %	8,43	9,01

Значения всех параметров соответствуют допустимым пределам. Это дает возможность сделать вывод о возможности их использования для практических расчетов.

#### Анализ результатов исследования

Анализ полученных моделей позволил сделать следующие выводы. Влияние показателя активности регуляторных систем пассажира перед началом поездки является существенным. Он определяет исходное состояние человека перед поездкой. Чем больше значение данного показателя перед поездкой, тем больше его значение после выполнения поездки. Между возрастом пассажира и его показателем активности регуляторных систем наблюдается прямая связь. С увеличением возраста пассажира снижаются адаптивные свойства его организма, что приводит к развитию транспортной утомляемости. Это объясняется ухудшением работы систем органов человека с возрастом, что является естественным

процессом. Поэтому, чем больше возраст пассажира, тем большее влияние на его адаптивные свойства оказывают условия поездки. Зависимость между временем поездки и показателем активности регуляторных систем пассажира определяется ее условиями, как показано на рис. 1, 2.

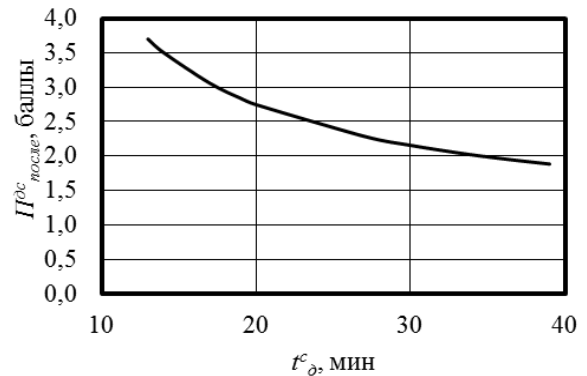


Рис. 1 – Зависимость изменения показателя активности регуляторных систем пассажира при поездке сидя от ее продолжительности

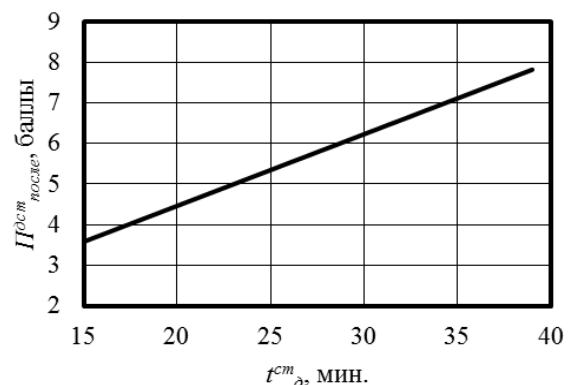


Рис. 2 – Зависимость изменения показателя активности регуляторных систем пассажира при поездке стоя от ее продолжительности

При поездке стоя на пассажира больше влияют факторы, связанные с движением транспортного средства. Это приводит к нарастанию утомления. При поездке сидя с увеличением времени наблюдается стабилизация состояния организма пассажира. Между коэффициентом использования вместимости транспортного средства и состоянием пассажира наблюдается прямая связь. Ведь, чем больше данный коэффициент, тем меньше остается личного пространства для пассажира, едущего стоя. Это существенно влияет на адаптивные возможности организма человека. Эргономичность транспортного средства, в качестве показателя которого

выступает отношение стоимости нового автобуса к номинальной вместимости, положительно влияет на организм человека. С улучшением эргономики салона транспортного средства уменьшается степень утомления во время поездки.

### Выводы

Проведенный анализ методов управления процессом перевозки пассажиров в пригородном сообщении показал, что они не полностью учитывают влияние параметров транспортного процесса на уровень транспортной утомляемости пассажиров. Этот уровень можно оценить изменением значения показателя активности регуляторных систем пассажира при выполнении каждого элемента процесса передвижения. Выявлено, что изменение показателя активности регуляторных систем пассажира при поездке сидя и стоя с достаточной точностью описывается нелинейными регрессионными уравнениями, в которых в качестве переменных выступают значения показателя активности регуляторных систем до начала поездки, возраст пассажира, время поездки, значение коэффициента использования вместимости транспортных средств, отношение стоимости нового автобуса к номинальной вместимости, выступающее в качестве показателя эргономичности транспортного средства. Полученные закономерности можно использовать при оптимизации параметров пригородной транспортной системы перевозки пассажиров

### Список литературы

1. **Ефремов И. С.** Теория городских пассажирских перевозок / **И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин.** – М.: Высш. школа. – 1980. – 535 с.
2. **Яновський П. О.** Пасажирські перевезення / **П. О Яновський.** – Київ: НАУ. – 2008. – 469 с.
3. **Hickman M. D.** Transit service and path choice models in stochastic and time-dependent networks / **M. D. Hickman, Bernstein D. H.** // *Transportation Science.* – 1997. Vol. 31. – P. 129 – 146.
4. **Nuzzolo A.** Schedule-based path choice models for public transport networks / **A. Nuzzolo** // *Proceedings of Advanced Course on Transit Networks.* – 2001. – 15 p.
5. **Lam W. H. K.** A stochastic user equilibrium model for congested transit networks / **W. H. K. Lam, Z. Y. Gao, K. S., Chan, H. Yang** // *Transportation Research.* – 1999. Vol. 33. – 1999. – P. 351 – 368.
6. **Schmoeker, J. D.** A quasi-dynamic capacity constrained frequency-based transit assignment model / **J. D. Schmoeker, M. G. H. Bell, F. Kurauchi** // *Transportation Research.* – 2008. Vol. 42B. – P. 925 – 945.
7. **Nuzzolo A.** A doubly dynamic schedule-based assignment model for transit networks / **A. Nuzzolo, F. Russo, U. Crisalli** // *Transportation Science.* – 2001. Vol. 35. – P. 268 – 285.
8. **Доля В. К.** Пасажирські перевезення / **В. К. Доля.** – Х.: «Видавництво «Форт»», 2011. – 504с.
9. **Медведєв В. И.** Физиологические принципы разработки режимов труда и отдыха / **В. И. Медведєва.** – Л.: Наука, 1984. – 140 с.
10. **Баевский Р. М.** Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / **Р. М. Баевский.** – М.: Наука. – 1984. – 222 с.
11. **Галушко В. Г.** Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / **В. Г. Галушко.** – Киев: Вища школа. – 1976. – 232 с.

### References

1. **Efremov I.S., Kobozev V.M., Yudin, V.A.** The theory of urban passenger transport. Moscow, 1980, 535.
2. **Yanovskyi P. O.** Pasazhyrski perevezennia. Kyiv: NAU, 2008, 469.
3. **Hickman M. D., Bernstein D. H.** Transit service and path choice models in stochastic and time-dependent networks // *Transportation Science*, 1997, **31**, 129–146.
4. **Nuzzolo A.** Schedule-based path choice models for public transport networks // *Proceedings of Advanced Course on Transit Networks*, Rome, 2001, 15.
5. **Lam W. H. K., Gao Z. Y., Chan K. S., Yang H.** A stochastic user equilibrium assignment model for congested transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1999, **33**, **5**, 351–368.
6. **Schmoeker J. D., Bell M. G. H., Kurauchi F.** A quasi-dynamic capacity constrained frequency-based transit assignment model // *Transportation Research* 42B, 2008, 925–945.
7. **Nuzzolo A., Russo F., Crisalli, U.** A doubly dynamic schedule-based assignment model for transit networks // *Transportation Science*, 2001, **35**, 268–285.
8. **Dolia V. K.** Pasazhyrski perevezennia. Kh.: «Vydavnytstvo «Fort»», 2011, 504.
9. **Medvediev, V. I.** Fiziologicheskie printsipy razrobotki rezhimov truda i otdyha. L.: Nauka, 1984, 140.
10. **Baevskii R. M.** Matematicheskii analiz izmenenii serdechnogo ritma pri stresse. M.: Nauka, 1984, 222.
11. **Galushko V. G.** Veroiatnostno-statisticheskie metody na avtotransporte. Kiev: Vishcha shkola, 1976, 232.

Надійшла (received) 25.03.2015

УДК 519.2

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ СО

О. В. ВЕДЬ\*

НТУ «ХПІ», Харків, Україна  
\*email: kml.kh.ua@email.com

**АННОТАЦІЯ** У роботі запропоновано математичну модель хімічної кінетики поверхневої каталітичної реакції. Математична модель описує реакцію доокислення монооксиду вуглецю до діоксиду вуглецю на платиновій поверхні каталізатора. У наближенні поділу кінетики на швидкі і повільні рухи. Практична ситуація, що відповідає досліджуваній моделі, полягає в тому, що відбувається допалювання монооксиду вуглецю до діоксиду вуглецю у вихлопах автомобільних двигунів для поліпшення стану атмосфери.

**Ключевые слова:** Математичне моделювання, конверсія, СО, СО<sub>2</sub>, каталіз, випускні гази, хімічні процеси

**АННОТАЦИЯ** В работе предложена математическая модель химической кинетики поверхностной каталитической реакции. Математическая модель описывает реакцию доокисления монооксида углерода до диоксида углерода на платиновой поверхности катализатора. В приближении разделения кинетики на быстрые и медленные движения. Практическая ситуация, отвечающая изучаемой модели, состоит в том, что происходит дожигание монооксида углерода до диоксида углерода в выхлопах автомобильных двигателей для улучшения состояния атмосферы.

**Ключевые слова:** Математическое моделирование, конверсия, СО, СО<sub>2</sub>, катализ, выпускные газы, химические процессы

## THEORETICAL SUBSTANTIATION MODEL OF CATALYTIC CO CONVERSION PROCESS

O. VED\*

senior lecturer NTU "KhPi", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Practical situation, accounting for the studied model is that CO Afterburning to CO<sub>2</sub> takes place in automobile engine's exhaust gases for atmospheric condition improvement. Initial gaseous mixture consist of nitrogen, oxygen and carbon monoxide while exit gases composed of nitrogen, carbon dioxide and oxygen. For change in mixture's component, physico-mechanical properties of the mixture, which determines its hydrodynamic and thermal behavior, changes. This paper presents a three-level modelling approach to the catalytic carbon monoxide oxidation in a temperature range between 400 K – 800 K. The first level involves the description of the chemical kinetics for the exothermic reactions on the catalyst surface. The second level models the thermal and hydrodynamic processes in the boundary diffusion layer between the catalyst surface and the reactive stream. Finally, the third modelling level focuses on the representation of the hydrodynamic and thermal properties for the bulk multi-component gas flow at various gas velocity and temperature ranges. The dynamic behaviour of the reactive system has been studied through simulated runs.

**Keywords:** Mathematical model, conversion, carbon monoxide, catalyst, chemical technology processes.

### Введение

Современный этап технологического развития характеризуется активным интересом к нанотехнологиям. Это, в частности, требует разработки новых подходов в области моделирования реальных физических процессов в нанобъектах и поиска

эффективных методов исследования построенных моделей. Высокая сложность и ограниченность во времени становятся причиной совершения исследований не на реальных нанобъектах, а средствами математического моделирования с использованием компьютерных числовых

экспериментов. Со всеми этими проблемами сталкиваются исследования в области катализа на поверхности металлов. Специфика этой области заключается в том, что процессы отбывают, в основном, на микроуровне, из чего следует и значительная сложность, и сверхвысокая стоимость построения экспериментальных установок, и очевидные существенные затраты времени на такие исследования. Главной проблемой при этом является невозможность гарантировать их успешность. При таких условиях наиболее рациональным и выгодным становится математическое моделирование таких явлений. Исследование проблем каталитического окисления угарного газа стало одним из наиболее важных вопросов в современной науке. Связано это не только с высоким значением этого процесса для промышленности и быта, как, например, чистота окружающей среды в разрезе очистки выбросов со значительным содержанием СО в атмосферу и экономия энергоресурсов, необходимых для обеспечения адекватных очистных мероприятий. Проблема эффективного протекания таких химических реакций на поверхностях металлических катализаторов охватывает достаточно широкий спектр научных задач. К сожалению, до сих пор нет универсальных физических моделей, которые позволяли бы одновременно точно и легко связать результаты теоретических и практических исследований на основе простой для применения математической модели.

### Цель работы

Целью настоящей работы является описание физической модели процесса окисления монооксида углерода на каталитически активной поверхности твердого носителя, которая включает в себя три описания математической модели процесса, в так же проведение уровня описания. Построение и лабораторных исследований. Для подтверждения адекватности построенной модели процесса окисления СО.

### Изложение основного материала

Одной из наиболее широко изучаемых реакций гетерогенного катализа является реакция доокисления монооксида углерода. Этот процесс наиболее активно протекает на поверхности металлов платиновой группы [8–

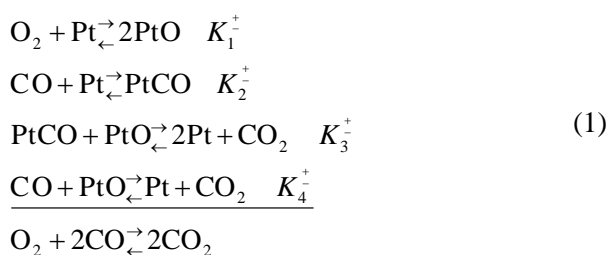
14]. Эта реакция является примером простой, но важной реакции, которая исследуется уже многие годы [8–14]. Важность этой реакции обусловлена тем, что несмотря на относительную простоту кинетического механизма, она демонстрирует весь набор явлений, присущий другим более сложным реакциям. К таким явлениям относятся химическая неидеальность, неизотермичность, критическое поведение, диффузия [1–7]. Реакция доокисления монооксида углерода до диоксида углерода молекулярным кислородом очень важна в экологическом отношении так, как происходит при дезактивации промышленных выбросов и выхлопных автомобильных газов. Окисление монооксида углерода происходит в несколько этапов, и реализуются эти этапы в форму ударного и безударного (механизмы Или – Ридила и Лэнгмюра – Ханшельвуда) [14, 15].

Последний механизм является адсорбционным. Принято считать, что адсорбция кислорода на металлах платиновой группы носит диссоциативный характер и характеризуется низкой энергией активации [8, 11, 12]. Десорбционная способность кислорода имеет немалую энергию активации и зависит от количества ранее адсорбированного кислорода [11–14]. Это же относится к адсорбции и десорбции монооксида углерода [11, 12, 14]. Данная реакция характеризуется набором констант скорости отдельных маршрутов и стадий. Значения этих констант определены в условиях низких и очень низких давлений. В области нормальных и высоких давлений значения констант испытывают значительные изменения. По общему мнению, в области высоких давлений маршруты и стадии остаются теми же, что и в области низких давлений [12–15].

В настоящей работе, учитывая построение модели описания реакции, включающей как уровень каталитической поверхности, так и уровень газовой смеси, текущей во внутреннем пространстве каталитической среды принято представление о двухмаршрутном механизме реакции как в области низких, так и в области нормальных давлений. Возможная неточность, связанная с выбором конкретного механизма имеет принципиального характера потому, что результаты, получаемые на уровне реакционной поверхности, входят отдельным блоком в модели других уровней описания.

В настоящей работе принята трехуровневая схема описания каталитической конверсии газовой смеси. Газовая смесь представляет собой смесь, состоящую из азота, кислорода, монооксида углерода и диоксида углерода. Практический интерес представляют два крайних случая: один – когда азот отсутствует или его очень мало, и второй – когда суммарное количество всех остальных компонентов в сравнении с количеством азота очень мало. Первый случай соответствует процессам химической технологии, а второй – дезактивации автомобильных отработанных газов. В настоящей работе рассматривается второй случай, причем считается, что азот химически неактивен и выполняет функцию фоновый газа – носителя. Описание конверсии газовой смеси при доокислении монооксида углерода основано на трёхуровневой модели. Первый уровень описания относится к каталитической поверхности. Второй уровень относится к области пограничного слоя, примыкающего к каталитической поверхности и ядру потока газовой смеси. Третий уровень относится к ядру потока. Модель первого уровня является сосредоточенной. Модель второго уровня является гидродинамической и включает в себя гидродинамические пограничные слои всех компонентов газовой смеси и тепловой пограничный слой общий для всех компонентов. Модель третьего уровня представляет собой сопряженную тепломассообменную одномерную модель, дополненную гидравлической моделью внутреннего пространства каталитической среды. Модели второго и третьего уровней описаний исходят из ламинарного режима течения смеси и при необходимости могут быть распространены на турбулентный режим течения.

Реакция доокисления записывается следующим образом [15]:



где  $K_1^+, K_2^+, K_3^+, K_4^+$  – константы скоростей реакций, имеющие Аррениусовский вид.

Математическая модель сосредоточенной химической кинетики, соответствующей (1), представляет собой систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений. Данная модель описывает изменение концентраций адсорбированных на поверхности Pt веществ и приповерхностного кислорода:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= 2k_1^+ a_s (1-x-y)^2 - 2k_1^- x^2 - k_3^+ xy - k_4^+ b_s x, \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= k_1^+ b_s (1-x-y) - k_2^- y - k_3^+ xy, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x$  и  $y$  – поверхностные концентрации PtO и PtCO соответственно;

$a_s$  – концентрация кислорода;

$b_s$  – концентрация монооксида углерода;

Значения скоростей производства  $\text{CO}_2$  задаётся следующим уравнением для условий стационарности протекания реакции (1):

$$\dot{c} = k_3^+ xy + k_4^+ b_s x. \quad (3)$$

Из условий материального баланса следует, что производство  $\text{CO}_2$  можно выразить через концентрацию CO, следующим образом:

$$v_s = \frac{k_2^+ k_3 (b_{0s} - \dot{c}) x (1-x)}{k_2^+ (b_{0s} - \dot{c}) + k_2^- - k_3 x} + k_4^+ (b_{0s} - \dot{c}) x. \quad (4)$$

Величина  $x$  является решением следующего уравнения:

$$x = \frac{2k_1^+ a_s (k_2^-)^2 \cdot (1-x)^2}{(k_2^+ b_s + k_2^-) \cdot (k_2^+ k_3 b_s (1-x)) + (k_4 b_s + 2k_1^- x)(k_2^+ b_s + k_2^-)}. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) в условиях низкого давления газовой смеси в широком интервале температур для различных значений давления и температурных интервалов имеет достаточно простой вид:

$$\begin{cases} x = \text{const} \cdot \left(\frac{a_s}{b_s}\right) \cdot (1-x)^2, & 10^{-6} \text{Па} \leq P \sim 10^{-2} \text{Па}, \quad 270^\circ \text{K} \leq T \leq 700^\circ \text{K}, \\ x = \text{const} \cdot \left(\frac{a_s}{b_s}\right) \cdot (1-x)^2, & 10^{-6} \text{Па} \leq P \sim 10^{-2} \text{Па}, \quad 700^\circ \text{K} \leq T^\infty \leq 950, \\ x = \text{const} \cdot a_s \cdot (1-x)^2, & 10^{-6} \text{Па} \leq P \sim 10^{-2} \text{Па}, \quad 950^\circ \text{K} \leq T \leq 1500^\circ \text{K}, \\ x = \text{const} \cdot a_s \cdot \frac{(1-x)^2}{x}, & 10^{-6} \text{Па} \leq P \sim 10^{-2} \text{Па}, \quad 1500^\circ \text{K} \leq T \leq 2100^\circ \text{K}, \end{cases} \quad (6)$$

Значения *const* для каждого из представленных интервалов давлений и температур различны. Подстановка результатов (6) в выражение (4) после умножения на величину тепловыделения реакции *r* позволяет получить выражение для теплового источника реакции (1).

### Обсуждение результатов

Используя представления о тепловом поверхностном источнике и стандартные представления о характере профилей скорости, температуры и концентрации компонентов газовой смеси можно сформулировать модель второго уровня описания. Эта модель использует такие условия: для профилей скорости условия обращения в ноль на каталитической поверхности и асимптотическое условие равенства скоростей пограничного слоя и ядра потока на границе слоя и ядра. Для профилей температуры – условия аналогичные условиям для скорости. Для концентраций кислорода и монооксида углерода в пограничных слоях используются условия  $a = a_s$ ,  $b = b_s$ , в которых величины  $a_s$  и  $b_s$  заранее неизвестны. Для определения значений  $a_s$  и  $b_s$  надо использовать условие равенства плотности потоков компонентов на каталитической поверхности и на границах пограничных слоёв и ядра потока. Эти условия позволяют выразить значения величин  $a_s$  и  $b_s$  через значения концентраций кислорода и монооксида углерода  $a^\infty$  и  $b^\infty$  на границах с ядром потока. В случае газовой смеси с преобладанием химически неактивного фонового газа, свойства фонового газа в основном определяют вязкость, теплопроводность и теплоёмкость смеси как целого. Если для описания зависимостей вязкости и теплопроводности использовать формулы Сазерленда, то итогом описанного будет следующая система уравнений:

$$\frac{1}{3} \frac{\rho^* T^*}{T^\infty + (T_0 - T^\infty) \left(1 - \frac{\delta_w}{\delta_r}\right)} \left\{ \frac{U^\infty}{\delta_w} \frac{\partial \delta_w}{\partial x} - \frac{\partial U^\infty}{\partial x} \cdot \left[ \frac{(T_0 - T^\infty) \left(1 - \frac{\delta_w}{\delta_r}\right) \frac{\delta_w}{\delta_r}}{T^\infty + (T_0 - T^\infty) \left(1 - \frac{\delta_w}{\delta_r}\right)^2} \right] \right\} = -\frac{2\mu(T_0)}{\delta_w^2} + \rho^* \frac{\partial U^\infty}{\partial x} \frac{T^*}{T^\infty + (T_0 - T^\infty) \left(1 - \frac{\delta_w}{\delta_r}\right)},$$

$$\frac{1}{3} \frac{\rho^* T^*}{T^\infty} C_p \left\{ 2U^\infty \frac{\partial T^\infty}{\partial x} - \frac{T_0 - T^\infty}{\delta_r} \left( \delta_r \frac{\partial U^\infty}{\partial x} + U^\infty \frac{\partial \delta_r}{\partial x} \right) \right\} = \frac{-2r\dot{C}(T_0)}{\delta_r},$$

$$\frac{2}{3} U^\infty \frac{\partial C^\infty}{\partial x} - \frac{1}{3} (C_0 - C^\infty) \frac{\partial U^\infty}{\partial x} - \frac{1}{3} U^\infty \frac{\partial \delta_c}{\partial x} \frac{C_0 - C^\infty}{\delta_c} = -2 \frac{\dot{C}(T_0)}{\delta_c},$$

$$U^\infty \frac{\partial C^\infty}{\partial x} = \frac{D(T^\infty)}{\delta_c^2} (C_0 - C^\infty),$$

$$\frac{\rho^* T^*}{T^\infty} C_p U^\infty \frac{\partial T^\infty}{\partial x} = \frac{\lambda(T^\infty)}{\delta_r^2} (T_0 - T^\infty), \quad (7)$$

$$T_0 = T^\infty + \frac{r\dot{C}(T_0)}{2\lambda(T_0)} \delta_r,$$

$$C_0 = C^\infty + \frac{\dot{C}(T_0)}{2D(T_0)} \delta_c,$$

$$\lambda(T_0) = \lambda^* \frac{T^* + C_\lambda}{T_0 + C_\lambda} \left( \frac{T_0}{T^*} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad \lambda(T^\infty) = \lambda^* \frac{T^* + C_\lambda}{T^\infty + C_\lambda} \left( \frac{T^\infty}{T^*} \right)^{\frac{3}{2}},$$

$$\mu(T_0) = \mu^* \frac{T^* + C_\mu}{T_0 + C_\mu} \left( \frac{T_0}{T^*} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad \mu(T^\infty) = \mu^* \frac{T^* + C_\mu}{T^\infty + C_\mu} \left( \frac{T^\infty}{T^*} \right)^{\frac{3}{2}},$$

$$D(T_0) = D(T^*) \left( \frac{T_0}{T^*} \right)^{1.85}, \quad D(T^\infty) = D(T^*) \left( \frac{T^\infty}{T^*} \right)^{1.85}.$$

В этой системе уравнений неизвестными являются величины:  $\delta_w$ ,  $\delta_r$ ,  $\delta_c$ ,  $T^0$ ,  $C^0$ ,  $T^\infty$ ,  $C^\infty$ . Величины  $\mu^*$ ,  $\lambda^*$ ,  $C_p$ ,  $\rho^*$ , представляют собой плотность, теплоемкость, вязкость, теплопроводность молекулярного азота при нормальных условиях.

Величины  $\delta_w$ ,  $\delta_r$ ,  $\delta_c$  обозначают гидродинамический, температурный и диффузионный пограничные слои.  $T^0$ ,  $T^\infty$  – температуры на каталитической поверхности и в ядре потока, соответственно.  $C^0$ ,  $C^\infty$  концентрации  $\text{CO}_2$  на каталитической поверхности и в ядре потока соответственно.  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $D$  – коэффициенты теплопроводности, вязкости и диффузии соответственно.  $c_p$  – теплоёмкость газовой смеси.  $C_\lambda$ ,  $C_\mu$  – постоянные Сазерленда для теплопроводности и вязкости. Мощность источника  $\dot{C}$  задается выражениями (4) и (6). Система уравнений (7), (4), (6) исследуется довольно сложно. Для



упрощения используется следующий подход: вместо уравнения (7) исследуется система уравнений сопряженного тепло- и массообмена, состоящая из двух уравнений для неизвестных  $T^\infty$ ,  $C^\infty$ . В приближении которое использует объёмные источники тепла и концентрации с мощностями, равными мощностям настоящих поверхностных источников. В результате решения такой системы уравнений и нахождения величин  $T^\infty(x)$ ,  $C^\infty(x)$  и подстановки в остальные уравнения (7) получаются не уравнения, а формулы для вычисления величин  $\delta_w$ ,  $\delta_T$ ,  $\delta_c$ ,  $T_0$ ,  $C_0$ , система уравнений для  $T^\infty$ ,  $C^\infty$  с объёмным источником имеет следующий вид:

$$\begin{cases} U^\infty \frac{\partial c^\infty}{\partial x} = \dot{c}, \\ \frac{\rho^* \cdot T^* \cdot C_\rho \cdot U^\infty}{T^\infty} \cdot \frac{\partial T^\infty}{\partial x} = \frac{r \cdot \dot{c}}{V} - \frac{K \cdot P}{S_1} (T^\infty - T^e), \end{cases} \quad (8)$$

где  $V$  – объём, приходящийся на единичную площадь каталитической поверхности;  $K$  – коэффициент теплопередачи между каталитической средой и внешней средой, которая его окружает. Если значения мощности источника коэффициентов теплопроводности и диффузии, взятые на каталитической поверхности выразить через их же значения в ядре потока при помощи разложения Тэйлора, то получается следующая система уравнений:

$$\Delta T = \frac{r}{2} \cdot \delta_T \cdot \frac{\dot{c}^\infty + \left(\frac{\partial \dot{c}^\infty}{\partial T^\infty}\right) \cdot \Delta T}{\lambda^\infty + \left(\frac{\partial \lambda^\infty}{\partial T^\infty}\right) \cdot \Delta T}, \quad \Delta T = T_0 - T^\infty, \quad (9)$$

$$\Delta c = \frac{\delta_c}{2} \cdot \frac{\dot{c}^\infty + \left(\frac{\partial \dot{c}^\infty}{\partial T^\infty}\right) \cdot \Delta T}{D^\infty + \left(\frac{\partial D^\infty}{\partial T^\infty}\right) \cdot \Delta T}, \quad \Delta c \equiv c_0 - c^\infty,$$

Для толщин пограничных слоёв  $\delta_T$ ,  $\delta_c$  получаются следующие уравнения:

$$\delta_T = \sqrt{\frac{\lambda^\infty \cdot T^\infty \cdot \Delta T}{\rho^* \cdot c_\rho \cdot T^* \cdot U^\infty \cdot \frac{\partial T^\infty}{\partial x}}}, \quad \delta_c = \sqrt{\frac{D^\infty \cdot \Delta c}{U^\infty \cdot \frac{\partial c^\infty}{\partial x}}}, \quad (10)$$

Исключая из (8) и (9) все неизвестные, кроме  $\Delta T$  получается следующее уравнение такого вида:

$$\Delta T^{\frac{3}{2}} - \frac{r}{2} \cdot \frac{\partial \dot{c}^\infty}{\partial T^\infty} \cdot \left( \frac{\lambda^\infty \cdot T^\infty}{\rho^* \cdot c_\rho \cdot T^* \cdot U^\infty \cdot \frac{\partial T^\infty}{\partial x}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \Delta T + \frac{\lambda^\infty}{\partial \lambda^\infty / \partial T^\infty} \cdot \Delta T^{\frac{1}{2}} - \frac{r \cdot \dot{c}^\infty}{2} \cdot \left( \frac{\lambda^\infty \cdot T^\infty}{\rho^* \cdot c_\rho \cdot T^* \cdot U^\infty \cdot \frac{\partial T^\infty}{\partial x}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0 \quad (11)$$

Совокупность уравнений (8) – (11) позволяет приближенно найти зависимости величин  $\delta_w$ ,  $\delta_T$ ,  $\delta_c$ ,  $T_0$ ,  $C_0$ ,  $T^\infty$ ,  $C^\infty$  от предельной координаты  $x$  вдоль каталитической поверхности. Если во втором уравнении системы  $K = 0$ , то это соответствует случаю теплоизолированной системы. Такой случай позволяет решить систему уравнений (8) точно путём выражения величины  $C^\infty$  через  $T^\infty$ . При этом величина источника  $\dot{c}$  также становится функцией температуры  $T^\infty$ , а продольная координата  $x$  вдоль каталитической поверхности в уравнение для температуры  $T^\infty$  явно не входит. В этом случае уравнение для  $T^\infty$  интегрируется в квадратурах. В более реалистическом случае, когда имеется внешний теплоотвод система уравнений (8) может быть сведена к единственному уравнению для температуры, которое относится к уравнениям Абеля и Рикатти. При решении уравнений в случае тепловой изоляции или внешнего теплоотвода возникает проблема недостаточности информации относительно значений констант скорости в выражении для источника. В области низких давлений эти значения хорошо определены, а в области нормальных давлений сильно уменьшается. Ниже считается, что при нормальном давлении в выражении для источника доминирует второе слагаемое  $m$  константой скорости  $k_4^+$ , значение которой при низких и нормальных давлениях отличаются примерно на семь порядков. Это обстоятельство формально можно учесть, если ввести перенормирующий множитель  $\xi \sim 10^{-7}$ . Еще одна проблема, осложняющая решение системы уравнений (8) путем сведения его к единственному уравнению для температуры  $T^\infty(x)$  заключается в том, что при больших температурах на каталитической поверхности

становится значимым радиационный теплообмен. В рассматриваемом случае доминирования нейтрального фонового газа в смеси всю смесь можно считать почти прозрачной для теплового излучения так, что радиационный теплообмен играет значимую роль только для теплоотдачи во внешнюю среду. Учитывая сказанное, коэффициент теплопередачи  $K$  может быть записан в следующем виде:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + \frac{1}{\alpha_{ec} + \alpha_{er}}}, \quad (12)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент теплоотдачи со стороны каталитической среды к стенке, ограничивающей эту среду;  $\delta_{ct}$  – толщина ограничивающей стенки;  $\lambda_{ct}$  – коэффициент теплопроводности стенки;  $\alpha_{ec}$  – коэффициент теплоотдачи от стенки в окружающую среду по конвективному механизму;  $\alpha_{er}$  – коэффициент теплоотдачи от стенки в окружающую среду по радиационному механизму; Суммируя всё сказанное уравнение для температуры  $T^\infty(x)$  после исключения величины  $c^\infty(x)$  из системы уравнений (8) принимает следующий вид:

$$\frac{\partial T^\infty}{\partial x} = u \cdot T^\infty \left( \alpha T^\infty + \beta \right) \cdot \left( \frac{T^\infty \cdot \frac{\beta \cdot v}{T_n^\infty \cdot u \cdot \beta \cdot \xi + \omega \cdot T_e} \times \left( T^\infty + \frac{u \cdot \beta \cdot \xi + \omega \cdot T_e}{u \cdot \alpha \cdot \xi - \omega} \right)^{\frac{\alpha \cdot v}{u \cdot \alpha \cdot \xi - \omega} - \frac{\beta \cdot v}{u \cdot \beta \cdot \xi - \omega \cdot T_e}}}{T_n^\infty + \frac{u \cdot \beta \cdot \xi + \omega \cdot T_e}{u \cdot \alpha \cdot \xi - \omega}} \right) - \omega \cdot T(T - T_e), \quad (13)$$

$$u = \frac{S}{V} \cdot \frac{\xi \cdot k_4^+ \cdot r \cdot b_n}{U^\infty \cdot \rho^* \cdot c_p \cdot T^*}, \quad v = \frac{S}{V} \cdot \frac{\xi \cdot k_4^+}{U^\infty}, \quad \omega = \frac{K \cdot P}{U^\infty \cdot S_1 \cdot \rho^* \cdot c_p \cdot T^*},$$

где  $S$  – площадь боковой поверхности каталитической среды;  $V$  – объем каталитической среды;  $b_n$  – начальная концентрация монооксида углерода;  $S_1$  – площадь поперечного сечения каталитической среды;  $P$  – периметр поперечного сечения каталитической среды;  $\alpha$ ,  $\beta$  – параметры равные  $0,6 \cdot 10^{-3}$ ,  $0,22$  соответственно.

Вешение уравнения (13) после подстановки в первое уравнение системы (8) позволяет найти зависимость концентрации  $CO_2$  в газовой смеси.

Уравнение (13) применялось для описания процесса каталитического доокисления отработанных газов в нейтрализаторе.

### Выводы

В ходе работы была создана физическая модель процесса окисления монооксида углерода на каталитически активной поверхности твердого носителя, которая включает в себя три стадии. На первой стадии происходит процесс химического превращения с образованием промежуточных веществ между каталитически активными центрами носителя и продуктом неполного окисления углерода с последующими актами доокисления на подобных активных центрах. Математическая модель, которая описывает физические процессы протекания конверсии, также содержит три уровня описания. Первый уровень описывает химическую кинетику поверхностной каталитической реакции в приближении разделения кинетики на быстрые и медленные явления. Второй уровень описания связан с представлением о пограничном слое. В изучаемой модели пограничный слой представляет собой тонкий слой переменной толщины, в котором всякая величина, являющаяся характеристикой потока газовой смеси, изменяется от своего приповерхностного значения до значения вдали от поверхности. На третьем уровне описания разработаны гидродинамическая и тепловая модели для скорости движения газового многокомпонентного потока и его температуры в объемной решетке носителя с каталитически активными центрами с регулярным и нерегулярным порядками.

Физическая модель процесса каждой стадии представлена системами уравнений. Уравнения описывают протекание кинетических актов взаимодействия реагирующих молекул газовой среды с каталитически активными центрами, массообменные и тепловые процессы.

Предварительные лабораторные исследования, подтвердили адекватность предложенной математической модели физическим данным кинетического, газодинамических и тепловых исследованиям. Это дало возможность посредством предложенной модели процесса конверсии  $CO$  теоретически рассчитать параметры каталитического нейтрализатора выпускных

газов двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием объемом 1,1 дм<sup>3</sup>.

Нейтрализатор выпускных газов двигателя внутреннего сгорания был изготовлен и на нем проведены исследования качества очистки выпускных газов. Испытания показали 0,9 степень конверсии угарного газа и прочих насыщенных и ненасыщенных углеводородов в нейтрализаторе.

#### Список литературы

- 1 **Churaev, N** The physical chemistry of transport processes in porous bodies / **N. Churaev** // Chemistry. – Moscow, 1990.
- 2 **Heifetz L, Neimark A.** Multiphase processes in porous media / **L. Heifetz, A. Neimark** // Chemistry. – Moscow, 1999
- 3 **Collins R,** During the fluids through porous materials / **R. Collins** // Myr. – Moscow, 2000
- 4 **Gebhart B, Jaluria Y, Mahajan R, Sammokia B** Buoyancy-induced flows and transport./**B. Gebhart, Y. Jaluria, R. Mahajan, B. Sammokia** // Hemisphere Publishing Corporation.– New York, 2001
- 5 **Dulnev G, Novikov V.** Transfer processes in inhomogeneous media / **G. Dulnev, V. Novikov** // Energoatomizdat.– Moscow, 1999
- 6 **Gebhart B, Dzhauriya J, Mahajan R, Sammakiya B.** Free convective flow of heat and mass transfer / **B. Gebhart, J. Dzhauriya, R. Mahajan, B. Sammakiya** // Myr. Moscow, 1991
- 7 **Groot S, Mazur P.** Non-Equilibrium thermodynamics./ **S. Groot, P. Mazur** // North Holland publishing company.– Amsterdam, 2000
- 8 **Idelchik I.** Directory of hydraulic resistance./ **I. Idelchik** // Mashinostroenie.–Moscow, 2000
- 9 **Kutateladze S.** Heat transfer and hydraulic resistance./ **S. Kutateladze** // Energoatomizdat.– Moscow, 2001
- 10 **Kutateladze S.** Analysis of the similarity in thermal physics / **S. Kutateladze** // Nayka.– Novosibirsk, 2000
- 11 **Landau L, Lifshitz E.** Theoretical physics. Hydrodynamics./ **L. Landau, E. Lifshitz** // Nayka. – Moscow, 1986
- 12 **Romm E.** Structural models of the pore space of rocks. / **E. Romm** // Nedra.– Leningrad, 1986
- 13 **Suzdalev I.** Nanotechnology. Physics and chemistry of nanoclusters, nanostructures, nanomaterials. / **I. Suzdalev** // Kom. Kniga.– Moscow, 2006
- 14 **Tsybenova S.** Basic models of thermal kinetics./ **S. Tsybenova** // *Phys and Chem Kinetics in Gas Dynamics*, 2008.– J 6:44–66

- 15 **Tuttliies U, Schueisser V, Eigenberger G** Modellierung der  $NO_x$  Speicherung und Reduction on Barium Shrinking Core Model./ **U. Tuttliies, V. Schueisser, G. Eigenberger** // *Chem Engin Sci*, 2006.– J 59(23):4731–4735.

#### References

1. **Churaev, N** The physical chemistry of transport processes in porous bodies. Chemistry, Moscow, 1990.
2. **Heifetz L, Neimark A.** Multiphase processes in porous media. Chemistry, Moscow, 1999
3. **Collins R,** During the fluids through porous materials. Myr, Moscow, 2000
4. **Gebhart B, Jaluria Y, Mahajan R, Sammokia B** Buoyancy-induced flows and transport. Hemisphere Publishing Corporation, New York, 2001
5. **Dulnev G, Novikov V.** Transfer processes in inhomogeneous media, Energoatomizdat, Moscow, 1999
6. **Gebhart B, Dzhauriya J, Mahajan R, Sammakiya B.** Free convective flow of heat and mass transfer. Myr, Moscow, 1991
7. **Groot S, Mazur P.** Non-Equilibrium thermodynamics. North Holland publishing company, Amsterdam, 2000
8. **Idelchik I.** Directory of hydraulic resistance. Mashinostroenie, Moscow, 2000
9. **Kutateladze S.** Heat transfer and hydraulic resistance. Energoatomizdat, Moscow, 2001
10. **Kutateladze S.** Analysis of the similarity in thermal physics. Nayka, Novosibirsk, 2000
11. **Landau L, Lifshitz E.** Theoretical physics. Hydrodynamics. Nayka, Moscow, 1986
12. **Romm E.** Structural models of the pore space of rocks. Nedra, Leningrad, 1986
13. **Suzdalev I.** Nanotechnology. Physics and chemistry of nanoclusters, nanostructures, nanomaterials. Kom. kniga, Moscow, 2006
14. **Tsybenova S.** Basic models of thermal kinetics. *Phys and Chem Kinetics in Gas Dynamics*, 2008, J 6:44–66
15. **Tuttliies U, Schueisser V, Eigenberger G** Modellierung der  $NO_x$  Speicherung und Reduction on Barium Shrinking Core Model. *Chem Engin Sci*, 2006, J 59(23):4731–4735.

Надійшла (received) 08.12.2014

## ЗМІСТ

<i>Борисенко А. А., Маценко С. М., Гриненко В. В., Бережная О. В., Дегтяр С. А.</i> Оценка быстродействия помехоустойчивого счетчика Фибоначчи в минимальных кодах	3
<i>Галица В. И., Гардер С. Е., Качанов П. А., Любиев А. И., Скрипниченко И. Н.</i> Статистический анализ степени влияния кинематических параметров движений копьеметателя на спортивный результат	9
<i>Шевченко В. А.</i> Графическое представление функции принадлежности студентов к типологической группе в зависимости от успеваемости	15
<i>Дихтяр Н. Ю., Мовсесян Я. С., Хламов С. В., Саваневич В. Е.</i> Аналитические выражения отклонений между оценками положений небесных объектов в задаче отождествления CCD-кадра	21
<i>Скуйбіда О. Л.</i> Низькотоксичний флюс для обробки Al-Si сплавів, отриманих рециклінгом лому та відходів	29
<i>Костик К. О., Костик В. О., Долженко А. С., Нікіфорова С. В.</i> Швидкісний метод нітроцементациі легованої сталі	35
<i>Акимов О. В., Сундус Мохаммед Нури</i> Сплавы с эффектом памяти формы. История появления и развития, физика процесса их уникальных свойств	42
<i>Кравченко С. В.</i> Синтез нового поданда, 1,8-БИС(9'-карбазолил)-3,6-диоксаоктана	50
<i>Матвеева Т. В.</i> Розробка рецептури майонезу на основі купажованих олій для функціонального харчування	55
<i>Прісс О. П.</i> Пружність та втрати маси під час зберігання огірків і кабачків	60
<i>Кофанова Е. В.</i> Влияние свойств растворителя на коррегируемую предельную молярную электропроводность солей меди (II)	65
<i>Левчук І. В., Кіщенко В. А., Тимченко В. К., Куниця К. В.</i> Сучасні методи ідентифікації олій та жирів у технохімконтролі жиропереробного виробництва	71
<i>Тесленко С. А., Врюкало Е. П., Перевалов Л. И.</i> Особенности обрушивания гибридов подсолнечника в замороженном состоянии	79
<i>Ларін О. О., Козлюк А. В.</i> Розробка інформаційної системи автоматизованої побудови комп'ютерних моделей пневматичних шин легкових автомобілів	93
<i>Левчук И. Л., Шейкус А. Р., Тришкин В. Я.</i> Способ управления процессом ректификации с помощью распределенных управляющих воздействий	100
<i>Малашкін В. В.</i> Система автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій	106
<i>Бодненко Т. В.</i> Автоматизация типовых задач цехового рівня виробництва	114
<i>Григорова Т.М., Давидич Ю.А., Доля В.К.</i> Мониторинг влияния параметров поездки на изменение транспортной утомляемости пассажиров пригородного сообщения	120
<i>Ведь О. В.</i> Теоретическое обоснование математической модели процесса каталитического превращения CO	125

## CONTENTS

<i>Borysenko A., Matsenko S., Hrynenko V., Berezyna O., Dehtiar S.</i> Performance evaluation of noise immunity Fibonacci counter in minimally codes	3
<i>Galitsa V., Garder S., Kachanov P., Lubyev A., Skripnichenko N.</i> Statistical analysis degree of impact kinematic parameters movements on sports result for javelin thrower	9
<i>Shevchenko V.</i> Graphical representation of the function of student typological group membership, depending on the academic performance	15
<i>Dichtyar N., Movsesian IA., Chlamov S., Savanevych V.</i> Analytical expressions for the calculation of deviations between assessments of the heavenly object in the problem of identification CCD-frame	21
<i>Skuibida O.</i> Low-toxic flux for treatment of Al-Si alloys made by recycling of scrape and waste	29
<i>Kostyk K., Kostyk V., Dolzhenko A., Nikiforova S.</i> High-speed method of carbonitriding of alloy steel	35
<i>Akimov O., Sundus Mohammd Noori Ahmed</i> Alloys with shape memory effect. The history of the emergence and development and the physics of their unique properties	42
<i>Kravchenko S.</i> The synthesis of new podand, 1,8-BIS(9'-carbazolyl)-3,6-dioxaoctane	50
<i>Matveeva T.</i> Development of mayonnaise formulations for functional nutrition based on blended oils	55
<i>Priss O.</i> Firmness and weight loss in stored cucumbers and zucchini	60
<i>Kofanova O.</i> Solvent properties influence on corrected limiting molar conductivity of copper (II) salts	65
<i>Levchuk I., Kishchenko V., Timchenko V., Kunitsa E.</i> Modern methods for the identification of oils and fats in tekhnokontrol inoperative production	71
<i>Teslenko S., Vriukalo K., Perevalov L.</i> The peculiarities of dehulling sunflower hybrids' seeds in the frozen state	79
<i>LARIN O., KOZLYUK A.</i> A development of information system for automated construction of fe models of pneumatic	93
<i>Levchuk I., Sheykus A., Trishkin V.</i> Control method of distillation process with distributed control effects	100
<i>Malashkin V.</i> System for automated synthesis of track development railway stations	106
<i>Bodnenko T.</i> Automization typical problem of production guild annotation	114
<i>Grigorova T., Davidich Y., Dolya V.</i> Monitoring influence of parameters travel to change the transport of passengers fatigue commuter	120
<i>Ved O.</i> Theoretical substantiation model of catalytic CO conversion process	125

**ВІСНИК**  
**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Збірник наукових праць  
Серія:  
Нові рішення в сучасних технологіях  
№ 14(1123)2015

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол  
Технічний редактор канд. техн. наук, доц. К. О. Костик  
Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський  
Дизайн та оформлення канд. техн. наук, доц. О.Ю. Заковоротний,  
канд. техн. наук, доц. К. О. Костик

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХП».  
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: [eklitus@yandex.ru](mailto:eklitus@yandex.ru)

Обл.-вид. № 12-15

Підп. до друку «02» квітня 2015 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний. Друк  
офсетний. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,0. Облік.вид.арк. 10,0.  
Наклад 300 прим. Зам. № . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП». Свідоцтво про державну реєстрацію  
суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---