



Volume 10, Issue 4 /2018

ISSN 2312-3125 (print), ISSN 2312-931X (online)

UDC 681.5+66-933.6+338.364

Editor-in-chief:

Khobin V.A., prof. (Odessa, Ukraine)

Deputy chief editors:

Kotlyk S.V., PhD. (Odessa, Ukraine)

Yegorov V.B., PhD (Odessa, Ukraine)

Editorial Board:

Hesuan Hu, prof. (Shaanxi, China)

Mingcong Deng, prof. (Tokyo, Japan)

Myong K. Jeong prof. (New Jersey, USA)

Panagiotis Tzionas prof. (Thessaloniki, Greece)

Qiang Huang, prof. (Los Angeles C.A., USA)

Qing-Shan (Samuel) Jia, prof (Beijing, China)

Yangmin Li, prof (Macao, China)

Vashpanov Y.O., prof. (Odessa, Ukraine)

Grabko V.V., prof. (Vinnytsia, Ukraine)

Zhuchenko A. I., prof. (Kiev, Ukraine)

Ickovich E.L., prof. (Moscow, Russia)

Ladaniuk A.P., prof. (Kyiv, Ukraine)

Liubchik L.M., prof. (Kharkov, Ukraine)

Montik P.M., prof. (Odessa, Ukraine)

Palov I., prof. (Ruse, Bulgaria)

Panin I.G., prof. (Voronezh, Russia)

Shevchenko K.L. prof (Kiev, Ukraine)

Hazarov V.G., prof. (St. Petersburg, Russia)

Cukerman Y.D., prof (Moscow, Russia)

Yakovis L.M., prof. (St. Petersburg, Russia)

Executive editor:

Titlova O.O., PhD (Odessa, Ukraine)

Computer design and imposition:

Kozub O.O. (Odessa, Ukraine)

Founder:

Odessa National Academy of Food Technologies

Address of the editorial office:

Ukraine, Odessa, Kanatnaya str, 112, 65039,

tel.: (048)712-42-54, e-mail:

journal.atbp@gmail.com

It's sent for the press 30.12.2018.

It's recommended for printing and publishing online by academic council of Odessa National Academy of Food Technologies

04 December 2018, protocol № 5

Responsibility for information reliability of the publication is the authors' liability issue.

Articles are printed in original language

It's allowed to use materials from the journal according to the Creative Commons license: CC-BY.

It's printed in publishing house of Diol Print corp. (Odessa). Circulation is 500 copies.

Журнал реферується і індексується 14-ма провідними Світовими базами даних і індексними системами: EBSCO Information Services, ISSN, CrossRef, NBUV, Directory of Open Access Journals (DOAJ), ROAD, Google Scholar, OCLC WorldCat, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Research Bible, ULRICHS WEB Global Serials Directory, Index Copernicus International, а також ELibrary.

Журналу присвоєно Міжнародний стандарт якості ISO 26324: 2012. Стандарт свідчить про те, що кожній статті опублікованій в нашому журналі в обов'язковому порядку присвоюється Міжнародний цифровий ідентифікатор DOI номер (Digital Object Identifier). Це в свою чергу гарантує, що доступ до матеріалу статті буде доступний для читачів незалежно від будь-якого роду форс-мажорних ситуацій.

Згідно з Міжнародними нормами журналу присвоєна ліцензія Creative Commons CC-BY Attribution, яка фіксує звід правил щодо захисту авторських прав авторів. Для збільшення рівня цитованості статей, опублікованих в нашому журналі вченими з усього Світу, і, як наслідок, збільшення індексу цитування наших авторів, редакція журналу АТБП оформляє всі пристатейні списки літератури відповідно до IEEE Citation Style (стиль цитування Міжнародної асоціації Institute of Electrical and Electronics Engineers).



ЗМІСТ

Захарченко Н.В., Гаджиев М.М., Иванова Л.В., Сулима Ю.Ю., Шпак Д.М., Гордийчук В.В. Аналіз впливу збільшення потужності ансамблю таймерних сигнальних конструкцій, що використовуються, при постійній тривалості кодових конструкцій на швидкість передачі інформації в цифрових системах зв'язку.....	5
Любека А., Корнієнко Я. Математичне моделювання температурного поля в апараті з псевдозрідженим шаром.....	11
Муратов В.Г., Левінський В.М., Осипова Л.А., Осипов В.Н. Автоматизація процесів переробки вторинної сировини виноробства.....	21
Воїнова С.О. Особливості управління технічними об'єктами з урахуванням їх зносу.....	31
Голубков П., Путніков Д., Єгоров В., Похлебін Н., Габуєв К., Гонгалло В. Синтез системи автоматичного керування робототехнічним пристроєм для приготування пельменної продукції особливих форм.....	35
Кирьязов И.Н., Шестопалов С.В., Степанов М.Т., Хобин В.А. Ідентифікація моделей витікання зерна з підсилованих засувок для АСОЗ ПТЛ перевантаження зерна	43
Шевченко В.А. Оптимізація процесу автоматичної синхронізації суднових дизель-генераторів при детермінованій постановці завдання	47
Кіркопуло К.Г. Розробка інтерфейсу оператора комп'ютерної системи автоматизації установки іонно-плазмового напилення.....	57
Антонова А., Оношенко О., Снігур Т. Дослідження та аналіз методів відображення алгоритмів обчислювальних задач на структуру комп'ютерних систем.....	65
Бутов Б.В., Тішин П.М., Шапорін В.О. Дослідження використання нечіткої логіки для штучного інтелекту в іграх.....	70
Сандлер А.К., Дрозд О.В. Роликовий вузол стрічкового транспортера.....	77

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL AND BUSINESS-PROCESSES

CONTENT

Zakharchenko N., Hadzhyev M., Ivanova L., Sulyma Y., Shpak D., Hordyichuk V. Analysis of the effect of an increase in power of an ensemble of timer signal structures used for a constant duration of code structures on the speed of information transmission in digital communication systems.....	5
Lyubeka A., Kornienko Y. Mathematical modeling of the temperature field in a fluidized bed apparatus	11
Muratov V., Levinskyi V., Osypova L., Osypov V. Automation of the processing of secondary raw materials of winemaking.....	21
Voinova S. Features of the technical objects control with registration their wear-out.....	31
Golubkov P., Putnikov D., Yehorov V., Pohlebina N., Gabuiev K., Honhalo V. Synthesis of the automatic control system of the robotic device for preparation of semi-finished special form ravioli products.....	35
Kiryazov I., Shestopalov S., Stepanov M., Khobin V. Identification of models of grain flow from silo gate for the ALOS FTL for loading grain onto ships	43
Shevchenko V. Optimization of the process of automatic synchronization of ship diesel generators in the deterministic formulation of the problem	47
Kirkopulo K. Development of an operator interface for a computer-aided automation system for ion-plasma spraying.....	57
Antonova A., Onoshenko O., Snigur T. Research and analysis the display methods for algorithms in computing tasks on the structure of computer systems.....	65
Butov B., Tishin P., Shaporin V. Research of the use of fuzzy logic for artificial intelligence in games.....	70
Sandler A., Drozd O. Roller strap ribbon transport.....	77



УДК 621.391

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ ИСПОЛЬЗУЕМОГО АНСАМБЛЯ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Захарченко Н.В.¹, Гаджиев М.М.², Иванова Л.В.³, Сулима Ю.Ю.⁴, Шпак Д.М.⁵, Гордийчук В.В.⁶

^{1,2,5,6} – Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Одесса, Украина

^{3,4} – Одесский технический колледж Одесской национальной академии пищевых технологий, Одесса, Украина

ORCID: ²<http://orcid.org/0000-0001-7280-3863>; ³<http://orcid.org/0000-0003-1738-7697>; ⁴<http://orcid.org/0000-0003-3986-7296>; ⁵<http://orcid.org/0000-0002-8092-8276>

E-mail: ²gadjievmm@ukr.net, ³ivanova_l_v@ukr.net, ⁴mr_lemur@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1225](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1225)

Аннотация: В статье представлены результаты исследования влияния увеличения мощности используемого ансамбля таймерных сигнальных конструкций при постоянной длительности кодовых конструкций на скорость передачи информации в цифровых системах связи. Обоснована целесообразность увеличения мощности используемого ансамбля таймерных сигнальных конструкций, путем изменения числа информационных отрезков в кодовых конструкциях в системах передачи информации, использующих цифровую связь. Проведен анализ методов передачи информации в цифровой связи при использовании позиционного способа кодирования с избыточными кодами. Обоснована нецелесообразность использования позиционного кодирования при передаче больших объемов информации. Представлен метод кодирования сигнала на основе таймерных сигнальных конструкций с использованием отдельных временных отрезков сигнала, не менее найквистового интервала для каждой сигнальной конструкции. Оцениваются временные параметры кодовых слов таймерных сигнальных конструкций: энтропия и информационная емкость найквистового элемента при кодовом уплотнении канала. Представлены результаты исследования выбора эффективной длины кодового слова в методе кодирования сигнала с использованием таймерных сигнальных конструкций для увеличения скорости передачи информации в цифровых системах связи. Приведены результаты исследования влияния параметров таймерных сигнальных конструкций на скорость передачи информации, которые показали эффективность использования метода кодирования сигнала с использованием таймерных сигнальных конструкций по сравнению с методом позиционного кодирования с избыточными кодами за счет увеличения информационной емкости найквистового элемента.

Abstract: The article presents the results of the study of the effect of increasing the power of the used ensemble of timer signal constructions with a constant duration of code structures on the speed of information transfer in digital communication systems. The expediency of increasing the power of the used ensemble of timer signal constructions is justified by changing the number of information segments in code structures in information transfer systems using digital communication. The analysis of methods of information transfer in digital communication using the positional coding method with redundant codes has been carried out. The inexpediency of using positional coding in the transfer of large amounts of information is substantiated. A method of coding a signal based on timer signal constructions using separate time intervals of the signal, not less than the Nyquist interval for each signal structure is presented. The time parameters of the code words of the timer signal constructions are estimated: entropy and information capacity of the Nyquist element during the channel code compression. The article presents the results of the study on the choice of the effective length of a code word in a signal coding method using timer signal structures to increase the speed of information transfer in digital communication systems. The results of the study of the influence of the parameters of the timer signal structures on the information transfer rate are shown, which showed the



efficiency of using the signal coding method using timer signal structures compared to the positional coding method with redundant codes due to an increase in the information capacity of the Nyquist element.

Ключевые слова: методы передачи информации, цифровая связь, позиционные коды, кодовое слово, кодовые конструкции, таймерные сигнальные конструкции, найквистовый элемент, найквистовый интервал.

Keywords: methods of information transfer, digital communication, position codes, code word, code constructions, timer signal constructions, Nyquist element, Nyquist interval.

1. Информационные параметры позиционных кодов

1) Методы передачи информации в цифровой связи [1] обеспечивают передачу сообщений от дискретных источников, имеющих счётное (конечное) число состояний N_m .

$$N_m = \sum_{i=0}^{n-1} d_i a^i \quad (i \in 0 \div i_g d > 1)$$

где d_i - значение разрядных коэффициентов, которые не превышают значения;

a - число различных значений информационного параметра в канале.

Заметим, что в реальной двоичной системе с позиционным кодированием $a = 2$.

Максимальное число размеченных комбинаций при соблюдении условий для d_i и a равно [3].

$$N_m = a^n$$

где n - число элементов в кодовом слове.

2) Количество информации в позиционных кодовых словах (H) определяется числом информационных элементов в них. Если код простой [3], т.е. используются все N_m кодовых слов, то

$$H = \log_2 N_m = \log_2 a^n = n \log_2 a \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что если $a > 2$, то при позиционном кодировании в каждом элементе содержится более одного бита информации. Существующие системы связи используют избыточные коды, в которых каждая комбинация содержит m элементов информационных и r элементов дополнительных (избыточных) [2].

$$n = m + r$$

Например, в коде с четным числом единиц информационными являются только $(n-1)$ элементов, а в 9-элементном коде Хэмминга содержится 5 информационных элементов и 4 проверочных [3], следовательно, энтропия каждого кодового слова $H=5$, а информационная емкость одного элемента $I_{H=9} = 0,5555...$

3) Следует заметить, что каждое кодовое слово при позиционном кодировании передается в канал коэффициентами x_i , длительность сигнала каждого из которых равна длительности элемента Найквиста [4].

$$t_0 = \frac{1}{\Delta F}$$

где: F - полоса спектра сигнала.

В заключении этого раздела оценим возможности передачи 2-х символьных ансамблей текста русского языка при позиционном кодировании. Так для передачи 32 символов русского языка необходимо согласно (1) 5 элементов кода ($\log_2 32 = 5$), а для передачи двух символьных ансамблей, ($N_p = 32 \times 32 = 1024$) необходимо $\log_2 1024 = 10$ элементов в кодовом слове (аналогично, для передачи 3-х символьных ансамблей длина кодовых слов будет, равной $3 \log_2 32 = 15$ элементов).

Таким образом можно сделать вывод, что при передаче одним кодовым словом информации 0-Z символов русского языка, существует линейная зависимость количества элементов в групповой комбинации от кратности Z , символьных ансамблей.

4) Следует заметить, что при различных методах, обеспечивающих формирование (32^Z) различных комбинаций общее число элементов n в кодовом слове равно

$$n_{\Sigma} = Z \log_2 32$$

Например, реализацией будут $N_{p1} = 23$ и $N_{p2} = 27$. Для формирования 1024 кодовых слов можно воспользоваться одним кодовым словом с числом элементов $n_1 = 10$, или двумя кодовыми словами по 5 элементов $n_1 = n_2 = 5$, или



двумя кодовыми словами при $n_1 = 2$ и $n_2 = 8$ с подмножествами чисел реализаций $N_{p1} = 2^2$ и $N_{p8} = 2^8$, что обеспечит общее число реализаций ($4 \cdot 256 = 1024$). При $n_1 = 3$ и $n_2 = 7$ подмножества будут $2^3 = 8$; $2^7 = 128$; ($n_{\Sigma} = 3 + 7 = 10$) с тем же числом реализаций ($8 \cdot 128 = 1024$).

К недостаткам позиционного кодирования следует отнести:

1. Расстояние между соседними моментами модуляции кратно длительности найквистового элемента, что ограничивает мощность реализуемого множества на интервале n элементов;

2. Элементность кодового слова n определяется числом различных состояний кодируемого источника N_K [4]
 $n = E^+ \log_2 N_K$

где E^+ - символ "целого большего числа $\log_2 N_K$ ", из [1] и [2] следует, что максимальное число N при двоичных сигналах не превышает 2^n .

5) В корректирующих (избыточных) кодах граничное число дополнительных r элементов определяется пределом Варшавова - Гильберта [1]

$$2^{n-m} = 2^r \geq \sum_{i=0}^{d_0-2} c_n^i - 1$$

где d_0 - требуемое кодовое расстояние.

В таблице 1 приведены значения чисел избыточных элементов r , при $m \in 1 \div 15$ при $d_1 = 3$ и $d_2 = 5$

Таблица 1 – Число проверочных элементов при $d \in const$

d_0/m	1	2	3	4	5	6	12	13	14	15
3	2	3	3	3	-	4	5	5	5	5
5	4	7	8	8	9	9	14	15	15	15

Как следует из таблицы 1 при кодовом расстоянии $d = 5$ и $m \geq 1$ интервалов реализаций, число избыточных элементов при позиционном кодировании большого числа информации значительно возрастает, что делает такой код неэффективным.

2. Таймерные сигнальные конструкции

В отличие от позиционного способа кодирования, когда информация о передаваемом разряде определяется видом сигнала на единичном (найквистовом) интервале, в таймерных сигнальных конструкциях (ТСК) информация "заложена" в продолжительностях (длинах) i отдельных временных отрезков сигнала τ_{ci} на интервале каждой сигнальной конструкции $T_{ск}$. С целью уменьшения межсимвольных искажений продолжительность каждого из отрезков сигнала в сигнальной конструкции не менее найквистового интервала [2].

$$\tau_{ci} = t_0 + z\Delta \quad (2)$$

где $z\Delta \in 0 \div z_0$ – целые числа.

Временной отрезок показывает часть единичного элемента $t_0 > \Delta = \frac{t_0}{s}$ и определяется параметрами помех в канале и допустимой вероятностью ложного приема сигнальной конструкции ($s \in 2, 4, \dots, s_0$).

Первое слагаемое выражения (2) обеспечивает установление переходного процесса на выходе канала при передаче всех i отрезков каждой сигнальной конструкции, а второе ($z\Delta$) несет информацию о кодовом слове.

Авторами таймерных сигналов [5], определена мощность (число реализации ТСК (N_p)) на интервале m найквистовых элементов:

$$N_p = C_{ms-i(s-1)}^i \quad (3)$$

После разложения выражения (3) получаем:



$$N_p = \frac{(ms - i(s - 1))!}{i!(ms - is)!}$$

В таблице 2 приведены мощности (N_p) ТСК при $s = 7$ для $m \in 4 \div 8$ для $i \in 1 \div 7$

Из таблицы 2 следует сделать вывод, что число реализаций сигнальных конструкций увеличивается как при увеличении интервала реализаций m при $i = const$, так и при увеличении отдельных временных i интервалов при $m = const$.

Для выбора эффективной длины кодового слова проведём анализ изменения энтропии (H) и информационной емкости найквистового элемента (I_H) [3].

При этом, учитывая работы [2], [3] определим значения вероятности появления отдельных событий P_i , а через значения последнего оценим H и I_H .

$$P_i = \frac{1}{N_p}; H = \log_2 N_p; I_H = \frac{\log_2 N_p}{m}$$

Таблица 2 – Мощности N_p таймерных сигнальных конструкций

i	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8
1	22	29	36	43	50
2	120	253	435	666	946
3	120	680	1330	2925	5456
4	1	330	3060	12650	35960
5	-	1	792	11628	65780
6	-	-	1	1716	38760
7	-	-	-	1	23450
8	-	-	-	-	1
Σ	263	1293	5654	29629	131643

В таблице 3 приведены значения информационной емкости найквистового элемента для $m \in 4 \div 10$ при $s \in 2 \div 10$ при $i=4$.

Таблица 3 – Информационная емкость найквистового элемента

s\m	4	5	6	7	8	9	10
2	0	0,781378	1,021547	1,102035	1,118911	1,10747	1,082972
3	0	1,025857	1,285708	1,354543	1,353715	1,324484	1,283664
4	0	1,225857	1,491881	1,547103	1,530285	1,486146	1,432158
5	0	1,395456	1,661204	1,702908	1,671914	1,615078	1,550109
6	0	1,542849	1,804954	1,833806	1,790197	1,722343	1,647975
7	0	1,673264	1,929886	1,946693	1,891763	1,814194	1,731615
8	0	1,790257	2,04038	2,045939	1,980763	1,894511	1,804647
9	0	1,89636	2,13944	2,134494	2,059969	1,965873	1,869462
10	0	1,923445	2,229218	2,214442	2,131325	2,030079	1,927725

Из таблицы 3 следует:

1) с увеличением m при $s = const$ информационная емкость найквистового элемента увеличивается до m_{max} (после m_{max} – уменьшается), с увеличением s при $m = const$ и $i = const$ увеличивается.

В таблице 4 приведены значения I_H при значениях $m \in 4 \div 10$ и изменяемом числе информационных отрезков $i \in 1 \div 6$, $s = 7$

Таблица 4 – Информационная емкость найквистового элемента

i\m	4	5	6	7	8	9	10
1	1,114	0,971	0,86	0,775	0,705	0,648	0,6
2	1,726	1,596	1,46	1,339	1,235	1,146	1,069
3	1,727	1,882	1,831	1,733	1,633	1,533	1,443



4	0	1,673	1,929	1,946	1,891	1,814	1,731
5	-	0	1,604	1,929	2	1,984	1,932
6	-	-	0	1,534	1,905	2,019	2,035

Анализ данных таблицы 4 показывает:

1) При каждом значении i с ростом m , I_H вначале увеличивается, после достижения m_{\max} – уменьшается:

$$m_{\max}(i = 1) = 4 (1,727)$$

$$m_{\max}(i = 2) = 5 (1,882)$$

$$m_{\max}(i = 3) = 6 (1,929)$$

$$m_{\max}(i = 4) = 7 (1,946)$$

$$m_{\max}(i = 5) = 8 (2,00)$$

$$m_{\max}(i = 6) = 10 (2,035)$$

2) Для увеличения информационной емкости найквистового элемента можно суммировать информационные емкости при $m = \text{const}$ с различным числом информационных отрезков.

Заключение

Исследования влияния параметров таймерных сигнальных конструкций на скорость передачи информации показало, что изменяя число информационных отрезков i в кодовых словах таймерных кодов при постоянном значении интервала реализаций $m = \text{const}$ можно увеличивать скорость передачи информации.

Список использованных источников

- [1] Захарченко Н.В. Системы передачі даних. Том1. Ефективність блокового кодування: Підручник. / Н.В. Захарченко, В.Й. Кільдишев, О.М. Мартинова // ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса:2014 – 486с.
- [2] Захарченко Н.В. Информационные параметры таймерных сигнальных конструкций при кодовом уплотнении канала / Н.В. Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков, В.М. Горицкий // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса:2016 – №2 – С.25–29.
- [3] Захарченко Н.В. Сравнение позиционного и таймерного кодирования / Н.В. Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков, В.В. Гордийчук // Збірник наукових праць віськового інституту телекомунікацій та інформатизації. – Одеса:2016 – №2 – С.41–46.
- [4] Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации: Учебник./ А.Г. Зюко, А.Н. Филько, В.Л. Банкет, П.В. Иващенко // Радиосвязь – Москва:1985 – 304с.
- [5] Захарченко Н.В. Информационные параметры таймерных сигналов / Н.В. Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса:2016 – №7 – С.24-28.

References

- [1] Zakharchenko N.V. Systemy peredavannia danykh. Tom1. Efektyvnist blokovooho koduvannia: Pidruchnyk. / N.V. Zakharchenko, V.Y. Kildyshev, O.M. Martynova // ONAZ im. O.S. Popova. – Odesa:2014 – 486p.
- [2] Zakharchenko N.V. Ynformatsionnyie parametryi taymernyih signalnyih konstruktсий pry kodovom uplotnenyy kanala / N.V. Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov, V.M. Horytskyi // Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova. – Odesa:2016 – №2 – pp.25–29.
- [3] Zakharchenko N.V. Sravnenye pozytsonnoho y taimernooho kodyrovanyia / N.V. Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov, V.V. Hordyichuk // Zbirnyk naukovykh prats viskovoho instytutu telekomunikatsii ta informatyzatsii. – Odesa:2016 – №2 – pp.41–46.
- [4] Ziuko A.H. Pomekhoustoichyvost y efektyvnost system peredachy ynformatsyy: Uchebnyk./ A.H. Ziuko, A.N. Fylko, V.L. Banket, P.V. Yvashchenko // Radyosviaz – Moskva:1985 – 304p.
- [5] Zakharchenko N.V. Ynformatsionnyie parametryi taymernyih syhnalov / N.V. Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov // Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova. – Odesa: 2016 – №7 – pp.24-28.



УДК 66.096.5

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В АПАРАТІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ

Любека А.¹, Корнієнко Я.²

^{1,2} – Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
ORCID: ² <http://orcid.org/0000-0002-3031-6212>
E-mail: ¹ Andrelyubeka@gmail.com, ² che@kpi.ua

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1226](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1226)

Анотація: Авторами наведенні результати експериментальних досліджень процесів гранулоутворення складних гетерогенних систем для одержання гуміно-мінеральних композитів з пошаровою структурою. При застосуванні оригінальної конструкції відцентрового механічного диспергатора. Який забезпечив збільшення зони диспергування і підвищив ефективність процесу тепло-масообміну. Досліди проводились із застосуванням методу струменево-пульсаційного псевдозрідження в автокочувальному режимі який створить збільшену зону інтенсивного тепло-масообміну всередині апарату. Початковими центрами грануляції були гранули сульфату амонія з домішками гумінових речовин. В середині шару встановлений механічний диспергатор конічного типу. Маса шару в процесі роботи підтримувалась постійною шляхом вивантаження гранульованого продукту. Перепад тиску в шарі вимірювався за допомогою водяного дифманометра, а температура – комп'ютерно-інформаційним комплексом з точністю 0,5 °С. Розроблена карта треків термопар, по паралельним площинкам, для проведення дослідження температурного поля в робочій зоні механічного диспергатора. Запропонована математична модель процесу зневоднення та грануляції, що враховує витрати енергії на випаровування вологи при зневодненні та гранулоутворенні, адекватно описує процес при застосуванні струменево-пульсаційного режиму псевдозрідження. Порівняльний аналіз доводить високу збіжність усереднених значення температурного поля та значень отриманих при розрахунку математичної моделі при реалізації струменево-пульсаційного псевдозрідження в автокочувальному режимі з застосуванням конічного диспергатора. Визначено температуру при якій реалізується стійкий процес грануляції при підвищеному питомому навантаженні за вологою в апараті в цілому.

Annotation: The authors present the results of experimental studies of granulose formation processes of complex heterogeneous systems for obtaining mineral composites with a layer structure. When applying the original design of a centrifugal mechanical dispersant. Which provided an increase in the dispersion zone and increased the efficiency of the heat-mass exchange process. Experiments were carried out with the application of the method of jet-pulsed fluidization in an autoclaving mode, which would create a fusion zone of intense heat-mass transfer inside the apparatus. The initial centers of granulation were granules of ammonium sulfate with impurities of humic substances. In the middle of the layer is a mechanical dispersant conical type. The mass of the layer in the process of operation was maintained constant by unloading the granular product. The pressure difference in the layer was measured with the help of a water difmomanometer, and the temperature was a computer-information system with an accuracy of 0.5 °C. A map of thermo-steam tracks, parallel to the plane, was developed for conducting a study of the temperature field in the working zone of a mechanical dispersant. The mathematical model of the process of dehydration and granulation, which takes into account the energy consumption for moisture evaporation under dehydration and granular formation, is adequately described by the application of the jet-pulsating mode of fluidization. The comparative analysis proves the high convergence of the averaged values of the temperature field and the values obtained when calculating the mathematical model for the implementation of jet-pulsed pseudo-fluidization in an autoclaving mode with the use of a conical dispersant. The temperature at which a stable granulation process is implemented at a high specific load on moisture in the apparatus as a whole is determined.

Ключові слова: механічний диспергатор, температурне поле, неоднорідне псевдозрідження, розподілення
Key words: mechanical dispersant, temperature field, inhomogeneous fluidization, distribution



Вступ

В сучасних умовах широко застосовуються технології для одержання твердих композитів із заданими властивостями які мають відповідну морфологію, що забезпечує рівномірне розподілення мінеральних та органічних компонентів по всьому об'єму твердої частинки. На думку авторів [1] в залежності від способу введення робочого розчину, властивостей компонентів та інтенсивності теплообмінних процесів можна одержати тверді частинки із щільною, пористою, «малиноподібною» або тороподібною структурою. Ефективність таких процесів визначається коефіцієнтом гранулоутворення, який показує частку сухих речовин які надходять в апарат з робочим розчином і трансформуються в гранульований продукт. Цей параметр визначається:

- гідродинамічним режимом псевдозрідження який забезпечує ефективне протікання тепло-масообмінних процесів
- способом введення рідкої фази (гомогенної або гетерогенної) який по суті визначає механізм гранулоутворення.

Огляд літературних джерел

Широкий діапазон властивостей компонентів в рідкій фазі, реологічні та фізико-хімічні властивості визначають різноманіття способів та конструкцій диспергаторів [1-3].

В останні роки в сільськогосподарському виробництві почали впровадження принципів сталого розвитку щодо раціонального землекористування з одночасним покращенням якості продуктивної частини врожаю тому актуальним науково-технічним завданням стало створення органо – мінеральних добрив нового покоління які містили окрім традиційних мінеральних компонентів, стимулюючі гумінові речовини та інші мікроелементи. Тобто в якості сировини використати відходи хімічної та харчової промисловості, що містять поживні та стимулюючі речовини.

Згідно [4] до водних розчинів сульфату амонію, що утворюється при виробництві капролактаму додають гумінові речовини та інші поживні речовини зокрема кістяне борошно. Складну гетерогенну систему подають на грануляцію в апарат з псевдозрідженим шаром для одержання гранульованого продукту з пошаровою структурою. Гранульований продукт повинен мати сфероподібну форму з розмірами 1,5 ÷ 4,5 мм з рівномірним розподілом по всьому об'ємі мінеральних та органічних речовин. Реалізація таких процесів визначається способом введення рідкої фази до апарату.

В роботах [5-9] наведені різні способи подачі однорідної рідкої фази за допомогою різного типу форсунок розташованих над або у шарі зернистого матеріалу. Проте такий процес гранулоутворення є стохастичним в якому частіше реалізується агломераційний механізм і тому використовується при зневодненні моносистем. Аналогічний результат досягається при застосування механічних високошвидкісних диспергаторів які встановлюються над шаром зернистого матеріалу [10].

Для забезпечення пошарового механізму гранулоутворення в багатьох випадках застосовують «Wurster» технологію, яка полягає у розташуванні в апараті з псевдозрідженим шаром вертикальних труб через які здійснюється направлена циркуляція зернистого матеріалу в режимі пневмотранспорту.

В нижній частині труби коаксіально розташована форсунка для розпилення рідкої фази. На думку авторів [10] реологічні властивості такої дисперсії дещо погіршується, це негативно впливає на стійкість процесу. Тому для забезпечення заданої продуктивності по рідкій фазі число таких систем збільшується. В реальних умовах це ускладнює контроль за роботою окремих блоків диспергування, а для введення гетерогенних систем взагалі є неприйнятною. Окрім того, при такому способі введення рідкої фази суттєво зростає локальний ризик перезволоження твердих частинок, тому що концентрація твердих частинок у висхідному вертикальному потоці в режимі пневмотранспорту є мінімальною (порозність $\epsilon \geq 0,8$).

Окрім того в таких апаратах має місце недостатня інтенсивність перемішування, а отже не повне використання існуючої поверхні зернистого матеріалу в процесах тепло-масообміну.

Основна частина

Досліди процесу грануляції проводились в апараті, що має форму паралелепіпеда з розмірами $A \times B \times H = 0,3 \times 0,11 \times 1,2$ спорядженого газорозподільчим пристроєм в нижній частині та встановленого розподільника в надмірному просторі, до якої підводився нагрітий до температури 190 °C газовий теплоносій та відбувалася подача робочого розчину, витрати якого регулювались для підтримання температури в шарі до 95 ± 3 °C.

Висота псевдозрідженого шару становила $H_0 = 0,320 H_m$ і визначалась експериментально з умов масообміну.

Рідка фаза вводилась механічним диспергатором конічної конструкції, розташований по центру камери гранулятора, на висоті 0,68 H_0 .

В якості початкових центрів грануляції використовувались сфероподібні гранули сульфату амонія з домішкою гумінових речовин з еквівалентним діаметром 1,5 мм. До апарату подавався 40% водяний розчин сульфату амонія, що містить 1% гумінових речовин.

Температура теплоносія на вході до апарату $T_{вх} = 190$ °C температура шару в характерній точці $X = 250$, $Y = 0$, $Z = 220$ за показниками якої проводились регулювання витрат робочого розчину $T_{ш} = 95 \pm 1$ °C.



Організація процесу при струменево пульсаційному псевдозрідженні в автоколивальному режимі наведена на рисунку 1а.

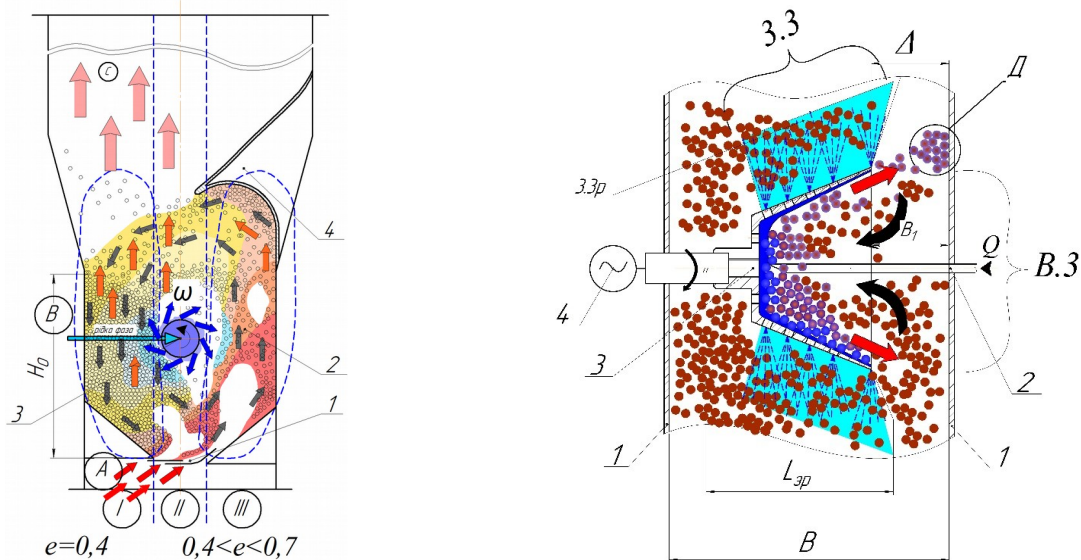
Проведені дослідження [11] показали, в робочому режимі струменево пульсаційного псевдозрідженні в апараті рисунок 1а, можна виділити 3 зони з точки зору гідродинаміки.

I – зона низхідного руху зернистого матеріалу в яку завдяки асиметричному введенню теплоносія (зріджуючого агенту) відбувається переміщення зернистого матеріалу внаслідок інерційного винесення із зони II і III у верхній частині зони I. Порозність шару в цій зоні практично є сталою $\epsilon_I = \epsilon_0 = 0,4$, тому що висота шару в цей момент збільшується в $(1,7 \div 2)H_0$.

II – межева зона в якій відбувається 3D перемішування зернистого матеріалу внаслідок руху внаслідок руху газових бульбашок та переміщень на їх місце зернистого матеріалу в основному із зони I. Порозність в цій зоні змінюється циклічно $\epsilon_{II} = 0,45 \rightarrow 0,68 \rightarrow 0,45$. В середині цієї зони на висоті $0,45H_0$ від поверхні ГРП розташований механічний диспергатор, кінцевого типу з розмірами $D_6 = 80 \text{ мм}$, $D_H = 40 \text{ мм}$ та довжиною 47 мм.

III – в цій зоні відбувається активне об'єднання газових струменів, що виходять з ГРП і призводить до утворення газової бульбашки в момент початку руху у вертикальному напрямку її об'єм практично повністю заповнює перетин зони III, що призводить до інерційного винесення значної кількості зернистого матеріалу в надшаровий простір, при взаємодії із вставкою 4, переміщується в зону I. Таким чином в зоні III утворюється активний висхідний рух зернистого матеріалу, який характеризується циклічною зміною порозності $\epsilon_{III} = 0,45 \div 0,75$. Висота вертикального факелу $Y_\phi = 80 \text{ мм}$, яка з урахуванням висоти точки введення $\Delta = 40 \text{ мм}$ [11] Модель руху сфероподібної гранули на внутрішній поверхні кінцевого диспергатора наведені на рисунок 1б.

Рідка фаза при подачі через трубку 2 розподіляється під дією відцентрової сили у вигляді плівки по внутрішній поверхні диспергатора, яка частково при потраплянні до отворів проходить на зовнішню поверхню диспергатора та розпилюється в зовнішню зону зрошення 3.3, рисунок 1б. Диспергатор знаходиться в середині псевдозрідженого шару і тому зернистий матеріал заповнює частину диспергатора який обертається. При цьому гранули які безпосередньо контактують із внутрішньою поверхнею диспергатора частково поглинають рідку фазу і під дією відцентрової сили виводяться з чаші диспергатора в горизонтальному напрямку.



а) Схема взаємодії газового суцільного середовища із зернистим матеріалом

1 – газорозподільчий пристрій, 2 – камера гранулятора, 3 – механічний диспергатор, 4 – направляюча вставка [11]

A – подача нагрітого теплоносія, B – подача рідкої фази до диспергатора,

C – відведення відпрацьованого теплоносія із псевдозрідженого шару

H_0 – висота початкового нерухомого шару в апараті

б) Модель руху зернистого матеріалу в зоні зрошення

1 – передня та задня стінка апарату, 2 – трубка подачі рідкої фази, 3 – механічний диспергатор, 3.3 – зовнішня зона зрошення механічного диспергатора, B.3 – зона циркуляції зернистого матеріалу у внутрішній зоні диспергатора.

Рис. 1 – Схема взаємодії газового суцільного середовища із зернистим матеріалом



Досліди проводились при зневодненні 40% (мас) розчину сульфату із вмістом гумінових речовин до 2% по відношенню до сухих речовин.

Кінетичні характеристики процесу гранулоутворення із застосуванням конічного диспергатора з відбійними кільцями [10] наведено на рисунку 2 – 6 показують позитивну динаміку росту D_e рисунок 2 та послідовний обмін між фракціями рисунок 3, що свідчить про відсутність агломератів. Динаміка зміни температури теплоносія на вході до апарату та шарі , рисунок 4, характеризує стабілізацію теплового режиму апарата. При цьому досягнуті робочі значення питомого навантаження за вологою $a_f = 0,58 \frac{\text{кг вол.}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$, що в 1,5÷1,9 перевищує цей показник для дискових диспергаторів рисунок 5. При цьому коефіцієнт гранулоутворення $\phi \geq 90\%$ рисунок 6, а гранульований продукт відповідає існуючим вимогам.

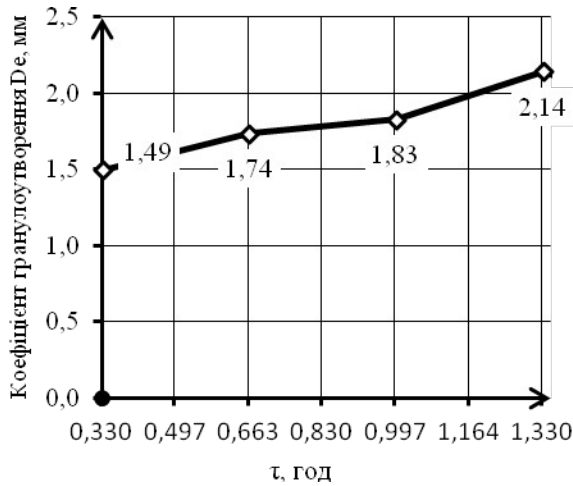


Рис. 2 – Динаміка зміни еквівалентного діаметра гранул

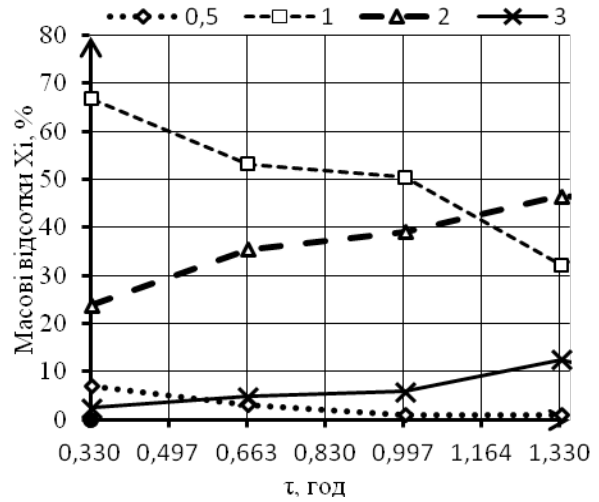


Рис. 3 – Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій із розміром гранул: +0,5 мм; +1,0 мм; +2,0 мм; +3,0 мм; +4,0 мм.

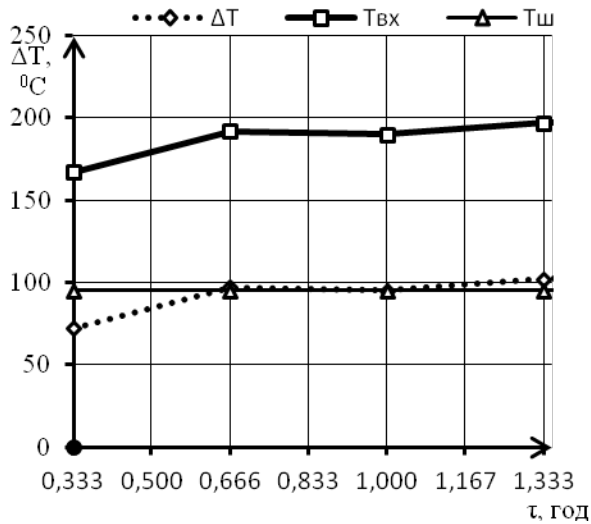
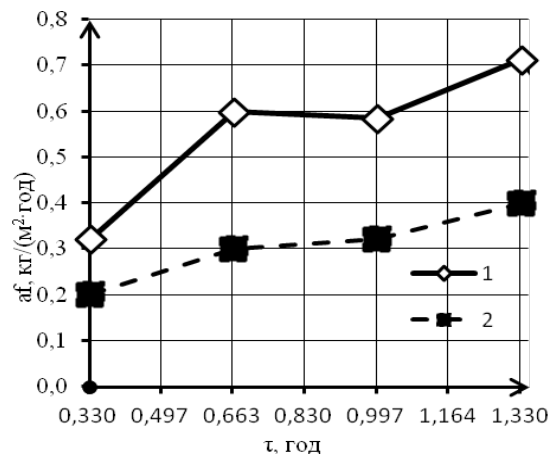
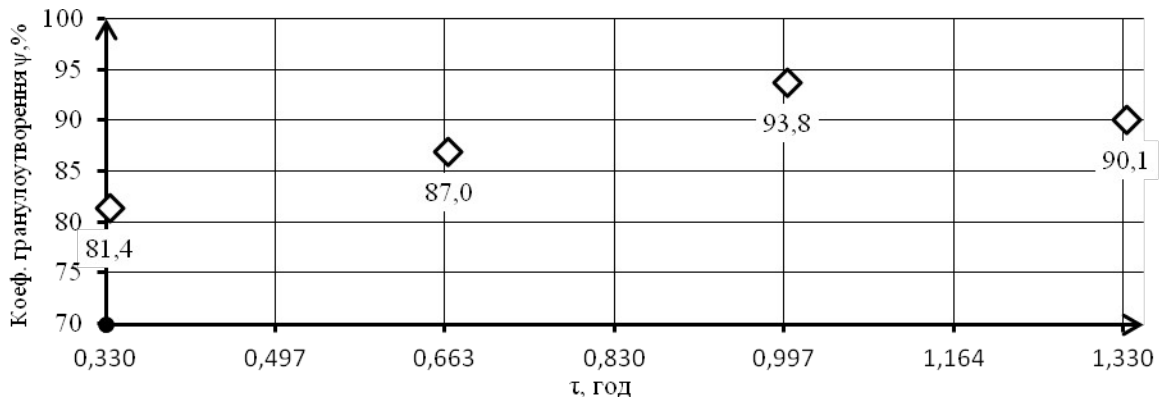


Рис. 4 – Динаміка зміни температури теплоносія на вході та в камері апарата



1-конічний диспергатор
2-дисковий диспергатор
Рис. 5 – Динаміка зміни питомого навантаження поверхні шару за вологою

**Рис. 6 – Динаміка зміни коефіцієнта гранулоутворення**

Для вимірювання поля температур робоча камера гранулятора розбита умовними площинами рисунок 7, в яких розміщені треки термопар.

ПЛ 1 (X = 50; Y = 0 – 110; Z = 0 ÷ 500)

ПЛ 2 (X = 150; Y = 0 – 110; Z = 0 ÷ 500)

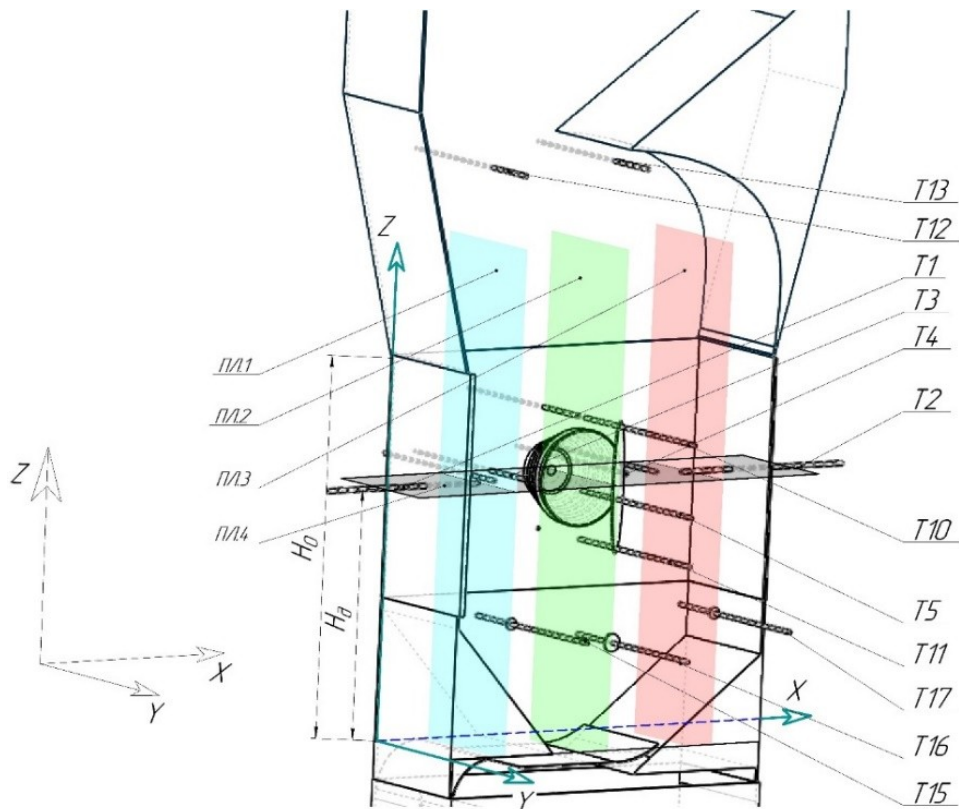
ПЛ 3 (X = 200; Y = 0 – 110; Z = 0 ÷ 500)

ПЛ 4 (X = 50; Y = 0 – 110; Z = 0 ÷ 220)

Результати вимірювання температурного поля в полі диспергатора по ширині на висоті Z = 220 (вісь обертання диспергатора) в низхідному потоці

рисунок 8 $\frac{dT}{dy} = -0,525 \frac{\text{град}}{\text{мм}}$

. Спостерігається мінімальне значення 71°C на крайці диспергатора з наступним поверненням температури в дисперсному середовищі до 94 °C на відстань $\Delta Y_3 = 30$ мм, рисунок 8.

**Рис. 7 – Схема розміщення треків термопар в камері гранулятора**



Динамічним зростанням $\frac{dT}{dy} = +1,5 \frac{\text{град}}{\text{мм}}$ рисунок 8 у висхідному потоці градієнт вздовж робочої зони трохи менший $\frac{dT}{dy} = -0,275 \frac{\text{град}}{\text{мм}}$, а в фронтальній зоні перед крайкою диспергатора $\frac{dT}{dy} = +0,7 \frac{\text{град}}{\text{мм}}$ рисунок 8.

Зміна температури T4 в треку розташованому в ПЛ 4 X = 200мм, Z = 220мм

0 ≤ X ≤ 110 рисунок 9 показує, що в зоні зрошення температура зменшується по довжині диспергування від 93 до 75 °С на бічній крайці диспергатора зони релаксації ΔY₄ становить 10 мм, що в три рази менше ніж у попередньому випадку.

Вимірювання температури в ПЛ 2 треку розташованого на Z = 270 мм, наведено на рисунок 10 Характер зміни температур по довжині зони диспергування аналогічний попереднім із збільшеною зоною релаксації ΔY₁₀ до 40 мм. Це пояснюється інтенсивним переміщенням зволжених гранул у вертикальному напрямку.

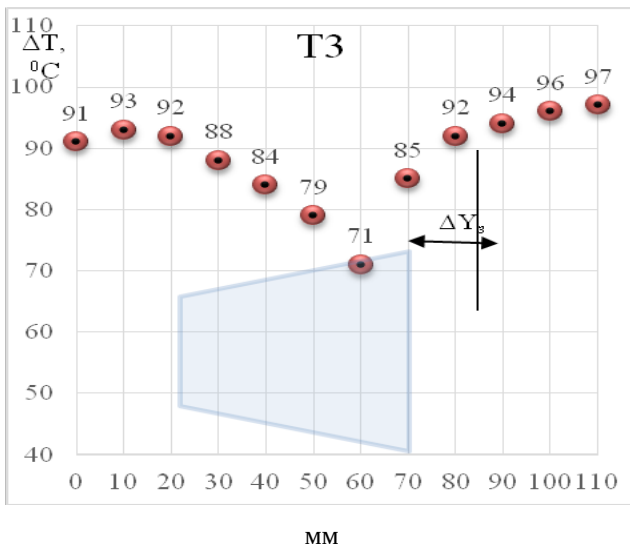


Рис. 8 – Зміна температури в площина на межі зони I і II при X=100 мм, 0 ≤ Y ≤ 110 мм, Z = 220 мм, T3

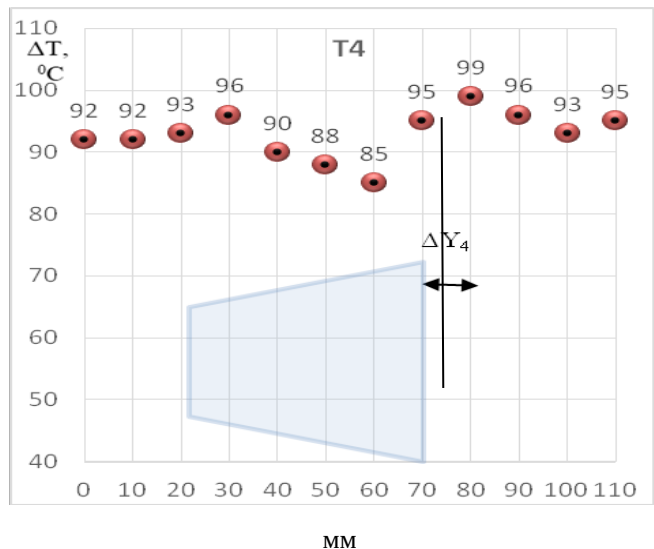


Рис. 9 – Зміна температури в висхідній площині A при X=200 мм, 0 ≤ Y ≤ 110 мм, Z = 220 мм, T4

Зміна температур в треку термопари T 11 розташованій в ПЛ 2 на висоті Z = 170 мм який розташований на 10 мм від більшої крайки диспергатора наведений на рисунок 11.

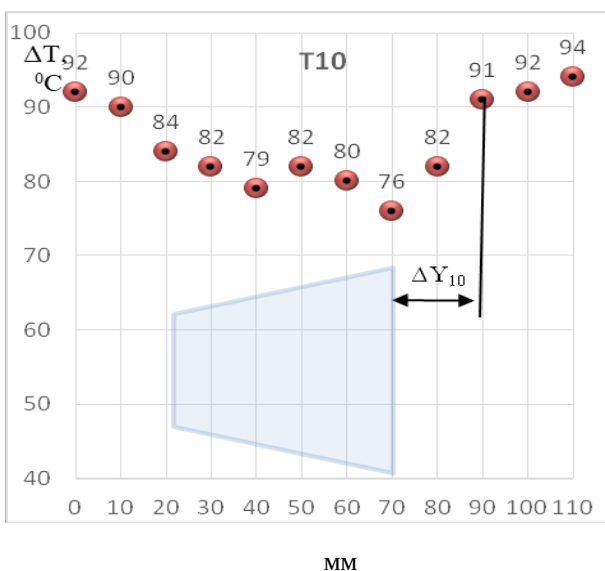


Рис. 10 – Зміна температури в висхідному потоці площина A при X= 150 мм, 0 ≤ Y ≤ 110 мм, Z = 270 мм, T10

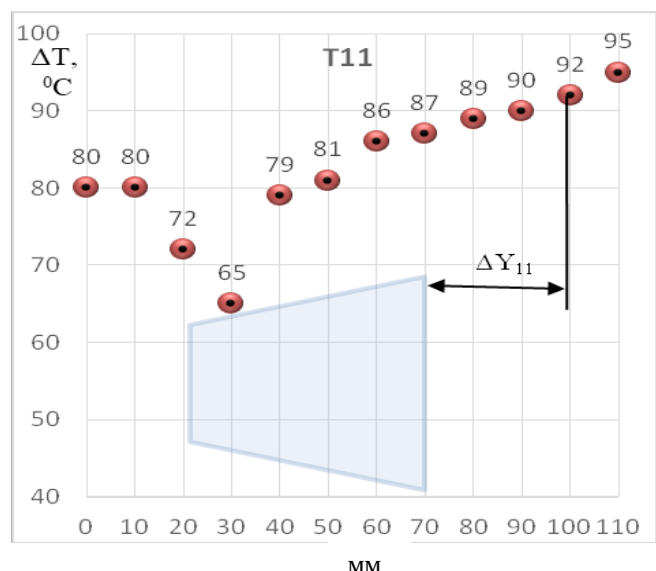


Рис. 11 – Зміна температури в ПЛ 2 під диспергатором, при X= 150 мм, 0 ≤ Y ≤ 110 мм, Z = 170 мм,



Діапазон зміни температур до крайки диспергатора, що знаходиться на рівні 90 – 80 °С рисунок 11, по довжині диспергатора змінюється від 87 до 65 °С з наступним підвищенням до 80 °С. Ці значення дещо нижчі від температури в характеристичній точці і підтверджують вплив зони диспергування. Активний гідродинамічний режим зумовлює відсутність зони релаксації перед більшою крайкою диспергатора.

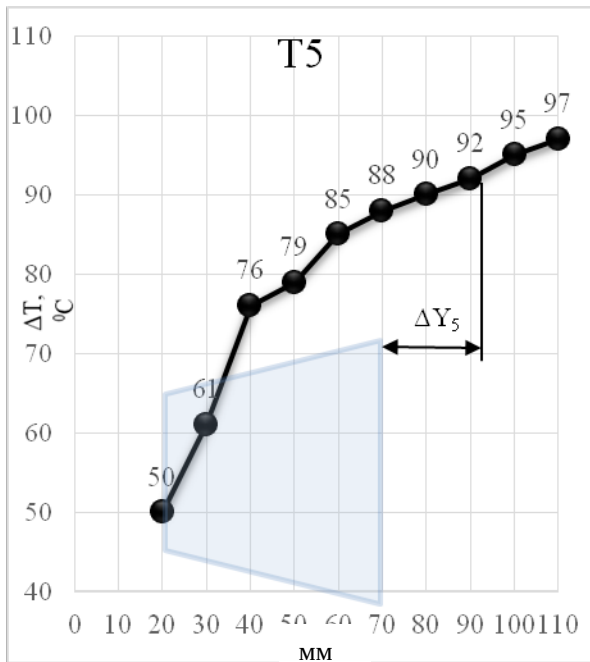


Рис. 12 – Зміна температури в частині диспергатора площина 3 при $X = 150$ мм, $30 \leq Y \leq 110$ мм, $Z = 210$ мм

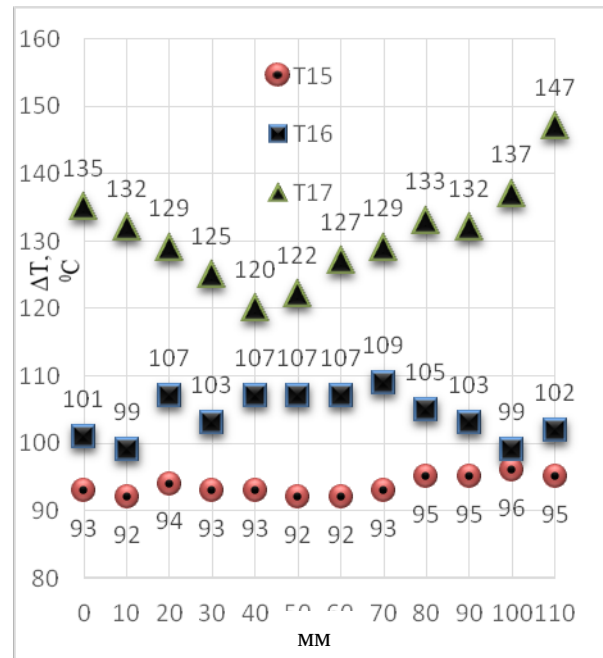


Рис. 13 – Зміна температури в ПЛ 1 при мм, ПЛ 2 при $X = 150$ мм, $0 \leq Y \leq 110$ мм, $Z = 90$, ПЛ 3 при $X = 250$ мм, $0 \leq Y \leq 110$ мм, $Z = 110$ мм

Наявність направленої циркуляційного руху з зони диспергатора підтверджує характер зміни температури в треку, що проходить по вертикальній площині на 10 мм нижче вісі обертання T5, рисунок 12. Так, мінімальна значення температури в площині введення рідкої фази 50 °С, а на виході 85 °С, рисунок 15 тобто градієнт становить

$$\frac{dT_5}{dy} = 1,375 \frac{\text{град}}{\text{мм}}$$

зона релаксації підвищено до 95 °С $\Delta Y_5 = 40$ мм. При цьому розмір зони релаксації перед більшою

крайкою диспергатора в нижній вісі обертання досягає максимальних значень $\Delta Y_5 = 40$ мм. Градієнт температур в середині диспергатора $\frac{dT_5}{dz} = 8,75 \frac{\text{град}}{\text{мм}}$.

Цей параметр разом з величиною ΔY_5 свідчить про потужний струмінь зволжених частинок, які під дією відцентрової сили відводяться із чаші диспергатора.

На рисунку 13 наведені результати вимірювання температур в горизонтальних площинах розташованих відповідно:

- T 15 ($X = 50$ мм, $0 \leq Y \leq 110$ мм, $Z = 110$) ПЛ 1
- T 16 ($X = 150$ мм, $0 \leq Y \leq 110$ мм, $Z = 90$) ПЛ 2
- T 17 ($X = 250$ мм, $0 \leq Y \leq 110$ мм, $Z = 110$) ПЛ 3

Так на висоті $Z = 110$ мм в ПЛ 1, низхідний рух зони I температура по всій глибині зони $0 \leq Y \leq 110$ знаходиться в межах $95 \div 93$ °С T15, рисунок 13. Значення температур вимірюються по середині зони II, знаходиться на $5 \div 10$ °С вище ніж у ПЛ 1 в діапазоні значень $99 \div 107$ °С, T16, рисунок 13 в якій відбувається спрямований рух нагрітого теплоносія.

На рисунок 14 наведена експериментально визначена зміна температур по висоті апарату для пл.1,2,3 та розрахована за модель.

Висота шару при якій температура дисперсійного середовища стабілізується 95 ± 3 °С для пл 1 і 2 досягається на висоті $Z = 110$ мм, а для площини 3 $\Delta Z = 200$ мм це пояснюється струменево пульсаційним псевдозрідженням в автоколивальному режимі рисунок 14. Зниження середньої температури шару при $Z = 200$ мм для ПЛ 2 пов'язане із зоною введення рідкої фази із застосуванням конічного диспергатора яке завдяки інтенсивному об'ємному перемішуванню призводить до вирівнюванню температури в порівнянні з іншими площинами на висоті $Z = 300$ мм.



Таким чином в околі диспергатора утворюється зона зрошення у вигляді зрізаного конуса розташованого горизонтально з висотою, що на 20% перевищує робочу довжину диспергатора та зовнішній діаметр.

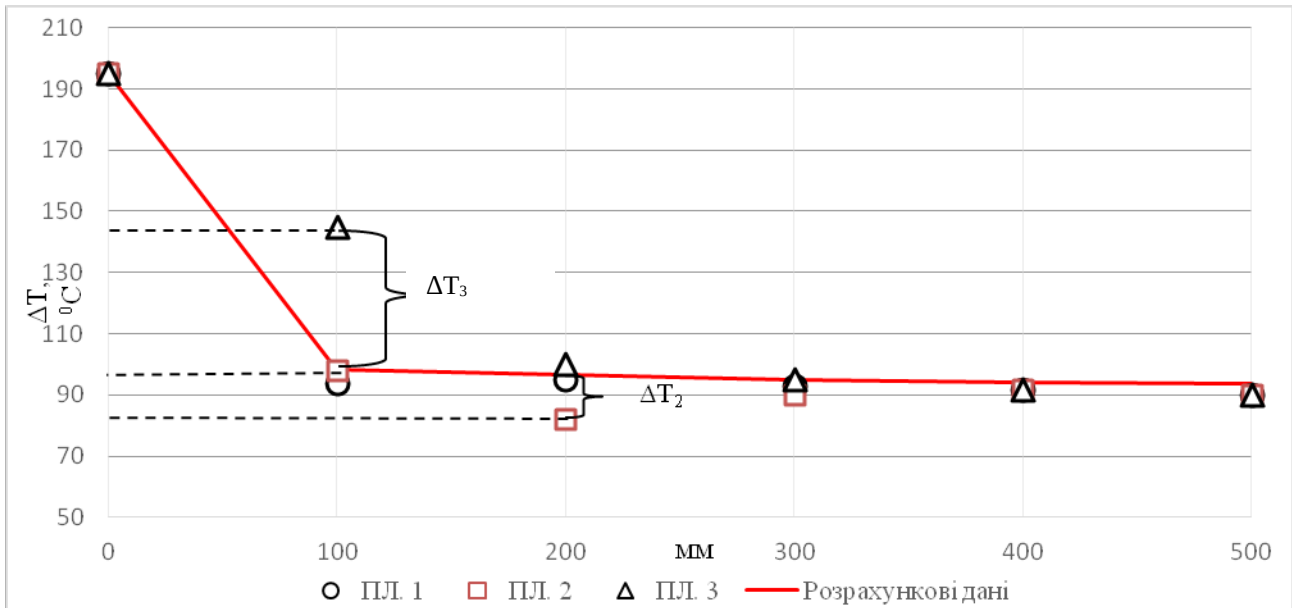


Рис. 14 – Зміна температури теплоносія по висоті апарата в площині ПЛ. 1 (Низхідний рух) X = 50, ПЛ. 2 (центральна площина) X = 150, ПЛ. 3 (Висхідний рух) X = 250.

Через цю область з частотою 1,6 – 1,8 Гц відбувається інтенсивне переміщення матеріалу внаслідок реалізації струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі, при якому до 45% маси шару виноситься за межі початкового об'єму шару [12].

Звідки загальний час циклу $\tau_{ци} = 1/F = 0,55 \div 0,625$ с, з якої $\frac{2}{3} \tau_{ци}$ – це загальний час переміщення матеріалу із зони II і III за межі початкового об'єму шару, та $\frac{1}{3} \tau_{ци}$ – час переміщення зернистого матеріалу в тимчасово утворенні пустоти зони II і III [13].

Враховуючи стохастичну природу псевдозрідженого шару максимальний час перебування частинок в зоні зрошення досягає $\frac{2}{3} \tau_{ци} = 0,42 - 0,36$ с. в якій температура середовища наближається до температури мокрого термометра, що при наявності розміру в межах 10 ÷ 250 мкм зумовлює формування плівки рідини за рахунок дії адгезійно-сорбційних сил.

В основу математичної моделі теплообміну покладено рівняння авторів [14] яке доповнено витратами енергії на підігрів рідкої фази, яка знаходиться на поверхні гранул у вигляді плівки, та витрати на нагрівання та випаровування розчинника. Тоді рівняння теплового балансу для газового теплоносія записується у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \text{Для гранул:} \\ \varepsilon \cdot \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T_r}{\partial t} + V_r \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{\partial T_r}{\partial x} = \varepsilon \cdot a \cdot \frac{\partial^2 T_r}{\partial y^2} - \alpha \cdot F \cdot (T_r - T_{p+n}) + G_p \cdot (1 - x_p) \cdot (r + C_n \cdot T_{p+n}); \\ (1 - \varepsilon) \cdot \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T_{p+n}}{\partial t} - V_{p+n} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho \cdot \frac{\partial T_{p+n}}{\partial x} = \alpha \cdot F \cdot (T_r - T_{p+n}) - \\ - G_p \cdot (1 - x_p) \cdot (r + C_n \cdot T_{p+n}) + G_p \cdot x_p \cdot q; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де ε – порозність шару (частка газу)

ρ_r – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$

ρ_r – густина гранул, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

w_2 – швидкість газу, с ;

C_r – теплоємність газу, $\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$



λ_r – теплопровідність газу, $\frac{\text{Вт}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$

F – питома поверхня гранул в шарі на заданій висоті, $\text{м}^2/\text{м}^3$

$$F = \frac{6(1-\varepsilon_0)}{d_g}, \quad d_e = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}}$$

d_e – еквівалентний діаметр частинок в шарі, мм

x_i – масова частина і – тої фракції,

d_i – середній розмір і – тої фракції, мм

G_p – питома масове навантаження шару зернистого матеріалу, $\frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}^3}$

X_p – концентрація сухих речовин в розчині, що подається до гранулятора, % (мас)

$T_r, T_{ш}$ – температура теплоносія на вході до гранулятора і температура в шарі, °С

T_r – температура теплоносія, К;

C_p – теплоємність робочого розчину, що подається до апарату, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$

q – ефективна теплота кристалізації, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$

r – питома теплота пароутворення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

w_m – швидкість руху твердих частинок, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

α – коефіцієнт тепловіддачі від газу до поверхні гранул, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$;

a – коефіцієнт температуропровідності, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

Порівняння зміну температури розрахованою рисунок 14 за рівнянням (1) з експериментальними дає хорошу збіжність за винятком зони III, в якій застосований струменево-пульсаційний спосіб введення теплоносія.

Так завдяки застосуванню механічного, конічного диспергатора з розширеною зоною диспергування, температура шару в зоні III (висхідна) з $\Delta T_3 = 40$ °С, в порівнянні з іншими зонами на висоті розподілення диспергатора досягає значень зони I (низхідної) рисунок 14. Різниця температур $Z = 100$ мм, $\Delta T_2 = 12$ °С, що майже в три рази менше ніж при застосуванні дискового диспергатора. Це дозволяє усунути ризик утворення агломератів внаслідок перезволоження шару в зоні введення рідкої фази.

Висновки

Запропоновано математична модель дозволяє адекватно описати усереднені значення температурного поля при реалізації струменево-пульсаційного псевдозрідження, з застосуванням конічного диспергатора та визначити температуру при якій реалізується стійкий процес грануляції $\varphi = 90$ % та суттєво підвищити питома навантаження за вологою в апараті в цілому.

Список використаних джерел

- [1] Nandiyanto, A. B. Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges / Okuyama, K //.. *Advanced Powder Technology* - 2011, 22(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2010.09.011>
- [2] Iskandar F. Production of morphology-controllable porous hyaluronic acid particles using a spray-drying method / Nandiyanto Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Acta Biomaterialia*. – 2009. P. 1027–1034
- [3] Widiyastuti W. Simulation and experimental study of spray pyrolysis of polydispersed droplets / W.N. Wang, I.W. Lenggoro, F. Iskandar, K. // *Journal of Materials Research*. – 2007. Vol.22.4 P. 1888–1898
- [4] Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator Haidai S., Liubeka A., Martynyuk O. // *Ukrainian Food Journal-2016*, V.5 (№1), pp. 144–154.
- [5] Bang J.H. Applications of ultrasound to the synthesis of nanostructured materials / Suslick K.S // *Advanced Materials* - 2010 V.20 (№1), pp. 1039–1059.



- [6] Iskandar F. Production of morphology-controllable porous hyaluronic acid particles using a spray-drying method / Nandiyanto, Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Acta Biomaterialia* -2009, V.5 (№4), pp. 1027–1034.
- [7] Iskandar F. Macroporous anatase titania particle: aerosol self-assembly fabrication with photocatalytic performance / Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Chemical Engineering Journal* -2009, V.152 (№1), pp. 293–296.
- [8] Iskandar F. Functional nanostructured silica powders derived from colloidal suspensions by sol spraying / Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Journal of Nanoparticle Research* -2001, V.3 (№4), pp. 263–270
- [9] Zbicinski I. Advanced experimental analysis of drying kinetics in spray drying / A. Delag, C. Strumillo, J. Adamiec, // *Chemical Engineering Journal* -2002, V.86 (№1-2), pp. 253–283
- [10] Kornienko Y. Influence of mechanical disperator designer parameters on equality of distribution of solution ., Liubeka A., Martynyuk O. // *Ukrainian Food Journal*-2016, V.7 (№1), pp. 105–119.
- [11] Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Haidai S., Liubeka A., Martynyuk O. // *Ukrainian Food Journal*-2016, V.5 (№1), pp. 144–154.
- [12] Kornienko Y. Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Haidai S., Kornienko Y. // *Ukrainian Food Journal*-2016, V.6 (№3), pp. 562–576.
- [13] Lyubek A.N. The evaluation efficiency of working mechanical liquid distributor, / Manastyrny M.N., Kornienko Y.N. // *Young Scientist* -2017, (№11), pp. 6 – 9
- [14] Sutkar, V. S . CFD – DEM model for coupled heat and mass transfer in a spout fluidized bed with liquid injection / Deen, N. G., Patil, A. V, Salikov, V., Antonyuk, S., Heinrich, S., & Kuipers, J. A. M. // *CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL* - 2016, 288, 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.044>

References

- [1] Nandiyanto, A. B. (2011) Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges / Okuyama, K //.. *Advanced Powder Technology*, 22(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2010.09.011>
- [2] Iskandar F. (2009) Production of morphology-controllable porous hyaluronic acid particles using a spray-drying method / Nandiyanto Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Acta Biomaterialia*. P. 1027-1034
- [3] Widiyastuti W. (2007) Simulation and experimental study of spray pyrolysis of polydispersed droplets / W.N. Wang, I.W. Lenggoro, F. Iskandar, K. // *Journal of Materials Research*. Vol.22.4 P. 1888–1898
- [4] Kornienko Y. (2016) Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator Haidai S., Liubeka A., Martynyuk O. // *Ukrainian Food Journal*, V.5 (№1), pp. 144–154.
- [5] Bang J.H. (2010) Applications of ultrasound to the synthesis of nanostructured materials / Suslick K.S // *Advanced Materials* V.20 (№1), pp. 1039–1059.
- [6] Iskandar F. (2009) Production of morphology-controllable porous hyaluronic acid particles using a spray-drying method / Nandiyanto, Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Acta Biomaterialia* -, V.5 (№4), pp. 1027–1034.
- [7] Iskandar F. (2009)Macroporous anatase titania particle: aerosol self-assembly fabrication with photocatalytic performance / Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Chemical Engineering Journal*, V.152 (№1), pp. 293–296.
- [8] Iskandar F. (2001) Functional nanostructured silica powders derived from colloidal suspensions by sol spraying / Widiyastuti W., Young L.S., Okuyama K., Gradon L. // *Journal of Nanoparticle Research* , V.3 (№4), pp. 263–270
- [9] Zbicinski I. (2002) Advanced experimental analysis of drying kinetics in spray drying / A. Delag, C. Strumillo, J. Adamiec, // *Chemical Engineering Journal*, V.86 (№1-2), pp. 253–283
- [10] Kornienko Y. (2016) Influence of mechanical disperator designer parameters on equality of distribution of solution ., Liubeka A., Martynyuk O. // *Ukrainian Food Journal*, V.7 (№1), pp. 105–119.
- [11] Kornienko Y. (2016) Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Haidai S., Liubeka A., Martynyuk O. // *Ukrainian Food Journal*, V.5 (№1), pp. 144–154.
- [12] Kornienko Y. (2016) Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Haidai S., Kornienko Y. // *Ukrainian Food Journal*, V.6 (№3), pp. 562–576.
- [13] Lyubek A.N. (2017) The evaluation efficiency of working mechanical liquid distributor, / Manastyrny M.N., Kornienko Y.N. // *Young Scientist*, (№11), pp. 6 – 9
- [14] Sutkar, V. S . (2016) CFD – DEM model for coupled heat and mass transfer in a spout fluidized bed with liquid injection / Deen, N. G., Patil, A. V, Salikov, V., Antonyuk, S., Heinrich, S., & Kuipers, J. A. M. // *CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL*, 288, 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.044>



УДК 681.5:663.26

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ВИНОРОБСТВА

Муратов В.Г.¹, Левінський В.М.², Осипова Л.А.³, Осипов В.Н.⁴^{1,2,3} – Одеська національна академія харчових технологій⁴ – Інститут проблем ринку і економіко-екологічних досліджень НАН УкраїниORCID: ¹ 0000-002-4196-7248E-mail: ¹ vikgorge@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1227](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1227)

Анотація: В статті розглядаються результати праці над грантовим проектом ЄС № 83263440 «Розвиток українсько-молдавського транскордонного виробничо-науково-освітнього кластера з переробки вторинних продуктів виноробства». Роботи направлені на зниження собівартості виноробної продукції за рахунок комплексної переробки вторинної сировини, що дає можливість одержувати продукти, які представляють значну цінність для низки галузей народного господарства, а саме: етиловий спирт, винну кислоту, енотанін, виноградне масло, біоконцентрати вітамінів групи В, вітамін D, фуражні корми, абразивні матеріали та інші. Представлена раціональна для Одеського регіону технологічна схема переробки, яка включає нові зразки обладнання – сепаратор, дробарку, інфрачервону сушарку. Способи термообробки сировини та конструкції обладнання захищені патентами України. Згідно із запропонованими способами термообробки сушарка ИКС-1 забезпечує інфрачервоне нагрівання насіння винограду з його наступним адіабатичним охолодженням-дозріванням. Приведена конструктивна схема сушарки. Також розглядається технічна реалізація системи автоматичного керування інфрачервоною сушаркою, в середовищі Simulink програми Matlab досліджені алгоритми регулювання, що забезпечують високу точність підтримання температури насіння в процесі сушіння. Представлена модель сушарки як об'єкту керування, запропонована структура системи, яка дозволяє частково компенсувати вплив на температуру насіння зовнішніх неконтрольованих збурень. Приведені порівняльні результати моделювання систем автоматичного регулювання звичайної і підвищеної динамічної точності, які підтвердили доцільність включення в систему додаткового каналу компенсації впливу збурень. Наведені результати промислових випробувань устаткування та систем автоматизації. Виявлені раціональні параметри технологічного процесу сушіння виноградного насіння. Випробовування підтвердили заявлені характеристики розроблених систем автоматизації і устаткування.

Abstract: In this article working results on EU grant project № 83263440 "The development of Ukrainian-Moldavian cross-border production-scientific-educational cluster on the processing of secondary winemaking products" are examined. Activities are aimed at reducing prime cost of winemaking products due to the complex processing of secondary raw materials, which makes it possible to obtain products that are of considerable value for a number of national economy sectors, namely: ethyl alcohol, tartaric acid, enotinin, grape butter, vitamin B bioconcentrates, vitamin D, fodder feed, abrasive materials and others. A rational for Odessa region processing technique is presented, which includes new models of equipment – a separator, a crusher, an infra-red dryer. Means of raw materials heat treatment and equipment designs are protected by Ukrainian patents. According to the proposed methods of heat treatment, the IKS-1 dryer provides infrared heating of grape seeds with its subsequent adiabatic cooling-maturation. Dryer design diagram is provided. Technical implementation of infrared dryer automatic control system is examined as well in MatLab/Simulink environment, namely: control algorithms which ensure high accuracy of maintaining the temperature of the seeds during drying. The model of the dryer as a control object is presented, the structure of the system is proposed, which allows partial compensation of the external uncontrollable disturbances influences on the seeds temperature. Conventional and increased dynamic accuracy automatic control systems comparative simulation results are shown, which confirmed the expediency of inclusion an additional channel of external disturbances compensation. The results of industrial testing of equipment and automation systems are presented. The rational parameters of grape seeds drying technological process are revealed. The tryouts confirmed the claimed characteristics of the developed automatic control systems and equipment.



Ключові слова: схема переробки виноградних вичавків, інфрачервона сушарка, система автоматичного регулювання з компенсацією зовнішніх збурень

Keywords: grape cake recycling scheme, infrared dryer, automatic control system with compensation of external disturbances

Вступ

Інтеграція України і Молдови у світовий економічний простір супроводжується жорсткою конкуренцією на ринку вина, що обумовлює необхідність підвищення якості виноробної продукції та зниження її собівартості [1]. Істотним резервом зниження собівартості вина в Україні є ефективне використання винограду шляхом впровадження безвідхідних технологій, яке розглядається як стратегічний напрямок раціонального використання обмежених природних ресурсів і охорони навколишнього середовища.

При переробці винограду на виноматеріали утворюється 15...20 % вторинної сировини, раціональна переробка якої дає можливість одержувати продукти, що представляють значну цінність для ряду галузей народного господарства. Такими є: етиловий спирт, винна кислота, енотанин, виноградне масло, біоконцентрати вітамінів групи В, вітамін D, фуражні корми, абразивні матеріали та безліч інших.

З метою вирішення існуючих проблем, пов'язаних з переробкою вторинної сировини виноробства, почався процес об'єднання виноробних підприємств на основі кластерної ідеології.

В 2017 р. Європейським союзом Україні та Молдові було виділене фінансування для реалізації грантового проекту ЄС № 83263440 «Розвиток українсько-молдавського транскордонного виробничо-науково-освітнього кластера по переробці вторинних продуктів виноробства».

Партнерами грантового проекту є:

- o Центр регіонального розвитку «Stabilitatea» (Комрат, Молдова) - лідируючий партнер;
- o ГО «Центр міського розвитку та інформаційних технологій» (Одеса, Україна);
- o Асоціація «Виноградарі і винороби Одеської області» (Одеса, Україна).

Асоційовані партнери:

- o Українська корпорація по виноградарству та виноробної промисловості «Укрвинпром» (Київ, Україна);
- o Одеська національна академія харчових технологій (Одеса, Україна);
- o Інститут проблем ринку і економіко-екологічних досліджень НАНУ (Одеса, Україна);
- o Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є. Таїрова» (Одеса, Україна).

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Анатомічні особливості виноградних ягід, а також сучасні ощадливі технології їх переробки на виноматеріали обумовлюють те, що вторинна сировина виноробства по змісту біологічно активних речовин перевершує вихідну сировину і вино. При раціональній її переробці можна одержати продукти, які представляють значну цінність для ряду галузей промисловості: харчової, фармацевтичної, парфюмерно-косметичної та ін.

Приклади продуктів переробки вторинної сировини виноробства наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Продукти переробки вторинної сировини виноробства

Вторинна сировина виноробства	Продукти переробки вторинної сировини виноробства (концентрація корисних речовин у вихідній сировині)
Гребені	Енотанин (0,22...2,5%), винна кислота, напої, добрива
Вичавки	Етиловий спирт, винна кислота, вуглеводи, поліфенольні концентрати, напої
Насіння	Виноградне масло, (9,9...17,9 %), вітамін D, корм для тварин, харчовий порошок, абразивні матеріали, енотанин (0,31...5,6 %), білок (8,2 %)
Шкірочка	Поліфенольні концентрати, енотанин (0,15...4,2 %), корм для тварин, добрива
Дріжджові опади	Спирт, біоконцентрати вітамінів групи В, білки, пептиди, амінокислоти, енантовий ефір

Найбільшу частку і значимість серед вторинної сировини виноробства становлять виноградні вичавки, переробка яких є не вирішеною проблемою, над якою працює наш колектив.

Раціональна схема переробки виноградних вичавків

Вичавки – це щільний залишок твердих частин виноградного грона, який одержують після пресування солодкої або збродженої мезги.

У зв'язку зі швидким окисненням і мікробіальним псуванням цієї сировини необхідний її поділ і сушіння, що забезпечує тривале зберігання, часто – до одного року.



Закордонне технологічне устаткування для цієї мети досить витратне в придбанні та обслуговуванні. Це обмежує його застосування і ставить задачу розробки бюджетного вітчизняного автоматизованого устаткування, що не поступається по якості існуючим закордонним аналогам.

На першому етапі нами розроблені та виготовлені дослідно-промислові зразки устаткування, необхідного для первинної переробки виноградних вичавків. Це дозволило запропонувати раціональну для Одеського регіону технологічну схему, представлену на рис. 1. Вологі вичавки після виноградного преса переробного підприємства, наприклад, транспортером (стрічковим, шнековим або іншим) направляють у прийомний бункер розробленого нами сепаратора виноградних насіння СВС-2 продуктивністю 1000...1200 кг/год.

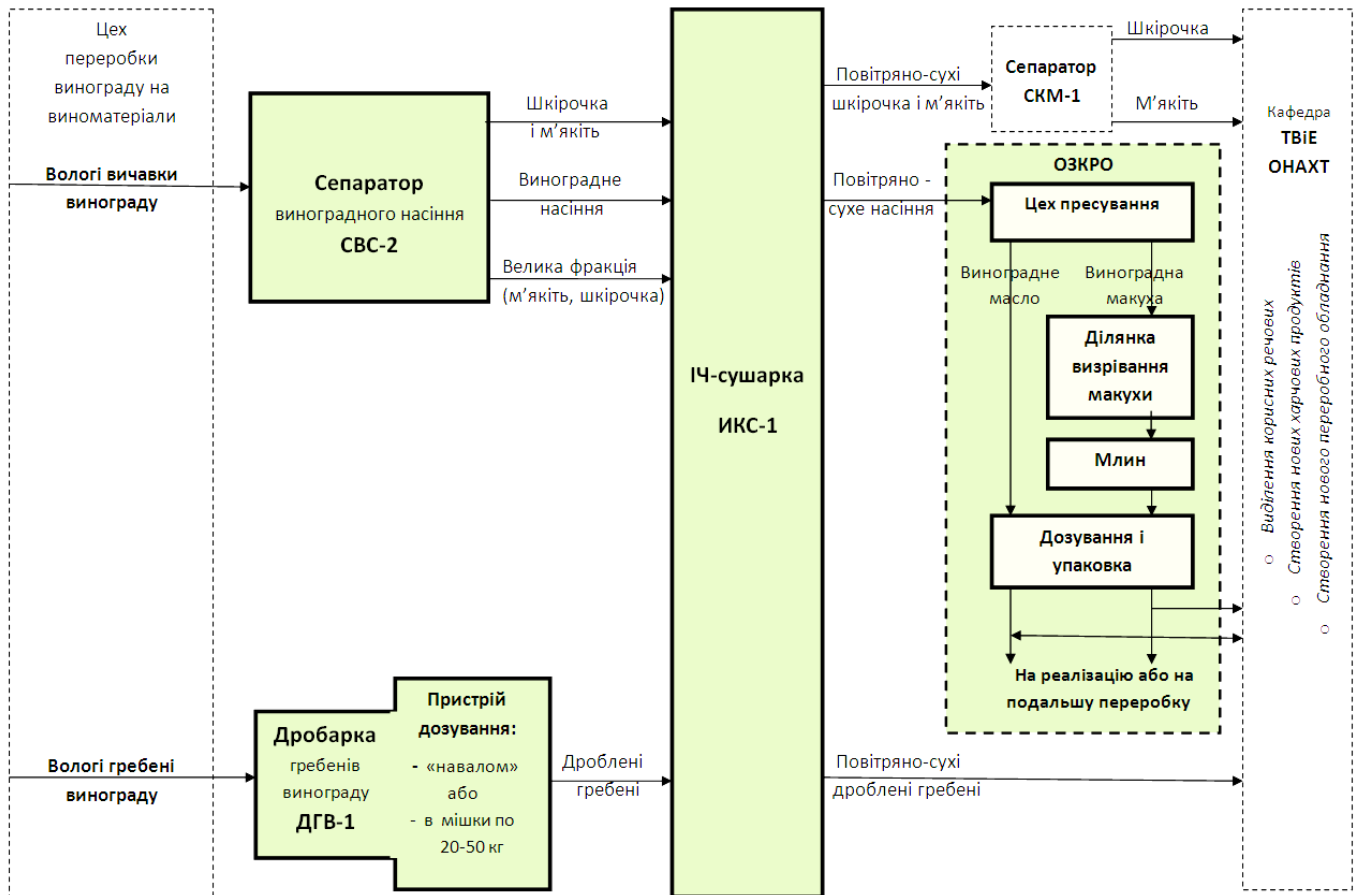


Рис. 1 – Схема переробки виноградних вичавків і гребенів

Тут вичавки піддають 2-х сідчастому механічному впливу. На першому етапі відбувається розпушення грудок вичавків і відділення насіння винограду від його шкірочки і м'якоті. Потім усю масу просівають, розділяючи на три потоки: каліброваного насіння, шкірочки з м'якоттю і великих часток м'якоті із дрібним насінням, не придатним для одержання виноградного масла.

Оскільки отримані складові не підлягають тривалому зберіганню, їх максимально швидко направляють на сушіння, наприклад, у розробленій нами інфрачервоній сушарці ИКС-1 продуктивністю 300...350 кг/год.

Дослідно-промисловий зразок сушарки ИКС-1 дозволяє висушувати насіння винограду, шкірочку і м'якоть, які можна після цього зберігати тривалий час до початку їх переробки.

Переробка виноградного насіння передбачає виділення пресуванням виноградного масла, його фільтрацію, зберігання, дозування та бутелювання на Одеському заводі кісточкових і рослинних олій (ОЗКРО). При цьому частина виноградного масла направляють на подальшу переробку.

Виноградну макуху, отриману у результаті пресування, розмелюють на спеціальному млині [2], а отриманий порошок використовують, наприклад, для одержання какао-замінника, скрабів у косметиці та ін.

Висушена шкірочка винограду легко відділяється від його м'якоті шляхом повітряного сепарування в сепараторі СКМ-1, який у цей час проходить випробування.

Суша шкірочка винограду використовується для одержання напоїв, наприклад, чаю типу «Каркаде».



Гребені винограду характеризуються великою об'ємністю при малій масі, що вимагає їхнього здрібнювання та упакування в тару по місці одержання перед транспортуванням для подальшої переробки. Це зажадало розробки дробарки гребенів винограду ДГВ-1 продуктивністю 250...300 кг/год.

Створення нових харчових і інших продуктів

В даний час на кафедрі технології вина і енології (ТВіЕ) ОНАХТ проводяться дослідження з метою виділення корисних речовин і розробки нових харчових і інших продуктів із вторинної сировини виноробства. Зокрема, з висушених м'якоті, шкірочки і гребенів винограду.

Мета і завдання дослідження

Виробники сучасного устаткування оснащують його засобами автоматизації, які забезпечують задані номінальні режими роботи, зниження кількості браку і енерговитрат. У даній публікації розглянуте питання розробки системи автоматичного керування одного з видів устаткування, а саме інфрачервоної (ІЧ) сушарки ИКС-1, розробленої нами для переробки вторинної сировини виноробства.

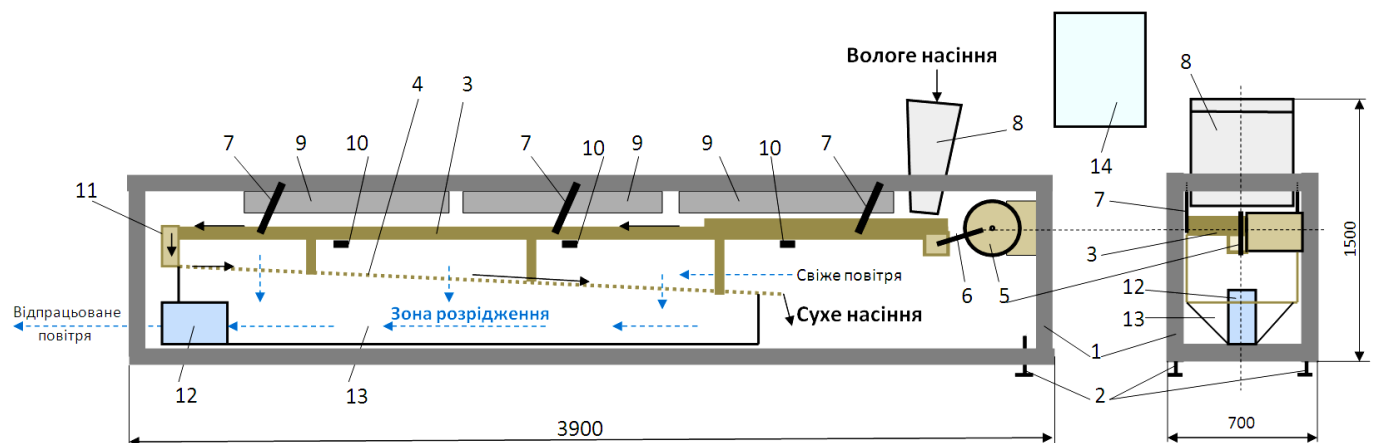
Методи і матеріали дослідження

Інфрачервона сушарка ИКС-1 як об'єкт керування

Інфрачервона сушарка ИКС-1, наведена на рис. 2, призначена для сушіння виноградного насіння перед виділенням з нього масла. Встановлена електрична потужність становить 30 кВт, продуктивність 300...350 кг/год.

Згідно із запропонованими способами термообробки [3, 4] сушарка ИКС-1 [5] забезпечує інфрачервоне нагрівання з наступним адіабатичним охолодженням-дозріванням насіння у зоні розрідження.

У корпусі 1 сушарки передбачені регульовальні болти 2, за допомогою яких можна змінювати нахил (продуктивність) ИКС-1. Там же змонтований вібротранспортер насіння, який складається з полотна 3 і сита 4, що представляють собою єдину жорстку конструкцію. Електропривод 5 за допомогою штовхача 6 і шатунів 7 здійснює зворотно-поступальний рух вібротранспортера, переміщуючи оброблюване виноградне насіння.



1 – корпус сушарки; 2 – регульовальні болти; 3 – полотно вібротранспортера (зона ІЧ-нагрівання); 4 – сито вібротранспортера (зона адіабатичного охолодження-дозрівання); 5 – електропривод вібротранспортера; 6 – штовхач; 7 – шатуни; 8 – завантажувальний бункер; 9 – ІЧ-нагрівачі; 10 – ПП температури полотна вібротранспортера; 11 – пристрій контролю середньої температури насіння; 12 – вентилятор; 13 – кожух зони розрідження; 14 – щит контролю і керування.

Рис. 2 – Загальний вид інфрачервоної сушарки виноградного насіння ИКС-1

Для завантаження насіння у сушарку передбачений завантажувальний бункер 8, обладнаний регульовальною заслінкою і пристроєм рівномірного розподілу насіння по полотну 3.

Над цим полотном у трьох зонах нагрівання насіння встановлені ІЧ-нагрівачі 9. Контроль температури полотна 3 у цих зонах (зі зворотної сторони цього полотна) здійснюють за допомогою первинних вимірювальних перетворювачів (ПП) температури 10, у якості яких застосовані поверхневі термометри опору градування 100П класу допуску «В».

Середню температуру потоку насіння після нагрівання контролюють пристроєм 11, який сповільнює проходження насіння із полотна 3 самопливом на сито 4 зони охолодження. У пристрої 11 насіння направляють до встановлених тут термометрів опору градування 100 П класу допуску «В», оснащених радіаторами для ефективного теплообміну з потоком насіння. Ці термометри, підключені до мікропроцесорного контролера, вимірюють середню температуру в центрі потоку насіння і по його краях. Значення 63 ± 20 С середньої температури цього потоку, одержуване за допомогою пристрою 11, свідчить про задане значення його кондиційної вологості.



Після пристрою 11, насіння попадає на сито 4 – у зону охолодження, де прохолоджуються за рахунок теплообміну з атмосферним повітрям, що всмоктується вентилятором 12 крізь сито 4. При цьому зона розрідження 13 поєднує піддон сита 4 із всмоктувальним патрубком вентилятора 4.

Мікропроцесорна та інша контрольно-вимірвальна апаратура, що здійснює контроль процесу сушіння, змонтована в щиті контролю і керування 14. Щит настінного виконання з передніми дверми, має габарити 400x400x200 мм.

Перша і друга (по ходу руху насіння) зони теплової ІЧ-обробки не регульовані. Електрична потужність останньої третьої зони нагрівання регулюється за допомогою мікроконтролера і симісторного перетворювача по сигналу ПП усередненої температури потоку насіння, який змонтовано в пристрої 11.

Структурна схема даного об'єкта керування (ОК), має вигляд, наведений на рис. 3.

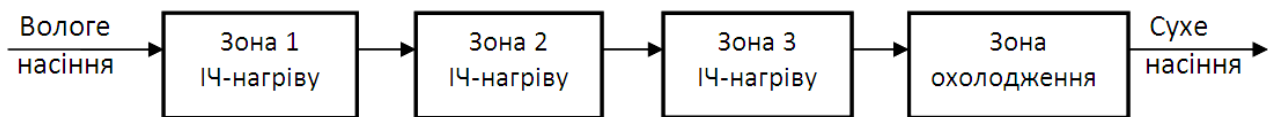


Рис. 3 – Структурна схема сушарки як об'єкта керування

Дослідження системи автоматичного регулювання сушарки ИКС-1

Структурна схема, наведена на рис. 4, відбиває матеріальні потоки і інформаційні зв'язки в системі. ПП температури сушарки пов'язані з мікропроцесорним контролером, який виробляє сигнали керування, що включають/відключають вібротранспортер, вентилятор, ІЧ-нагрівачі першої і другий зон нагрівання. Контролер, крім того, за допомогою симісторного перетворювача змінює електричну потужність ІЧ-нагрівача третьої зони нагрівання, виводячи середню кінцеву температуру потоку насіння після зон нагрівання на задане значення і стабілізуючи його.

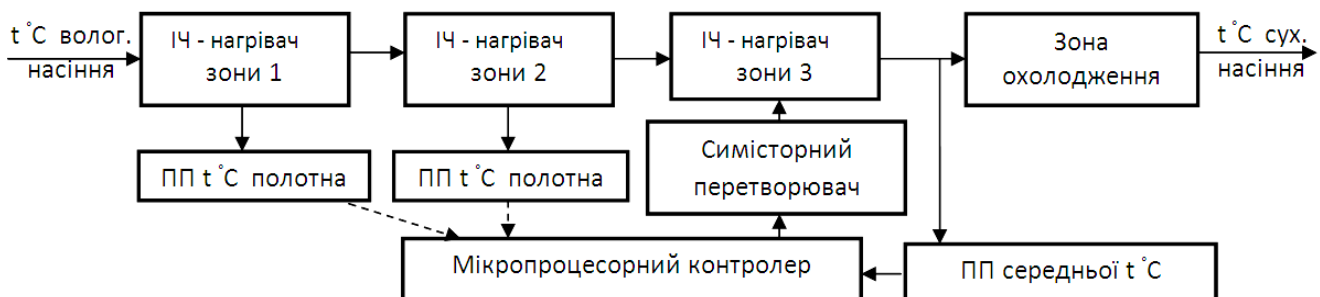


Рис. 4 – Технічна структура системи автоматичного регулювання сушарки ИКС-1

У процесі функціонування на систему автоматичного регулювання (САР) сушарки впливають збурення, викликані відхиленням температур навколишнього середовища і вологості насіння на вході в сушарку, маси і швидкості переміщення насіння по вібротранспортеру, коливання напруги в мережі живлення та інші зовнішні фактори. Дія збурень збільшує час виходу на номінальний режим роботи сушарки і погіршують якість стабілізації температури насіння на виході, що часто приводить до неприпустимих коливань його кінцевої вологості.

Це визначило необхідність дослідження і розробки в рамках наведеної структури САР раціональних алгоритмів регулювання.

Дослідження системи проводилося шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання САР у середовищі Simulink пакета програм Matlab. На схемі моделювання, наведеної на рис. 5, значення керуючих впливів $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ прийняті в діапазоні зміни 0...100 %. Вони подаються на ІЧ-нагрівачі N_1 , N_2 , N_3 , представлені безінерційними ланками з коефіцієнтами передачі k_1 , k_2 , k_3 , $^{\circ}3/\%$. У результаті нагрівання відбувається зміна температур насіння $y_1(t)$, $y_2(t)$ і $y_3(t)$ $^{\circ}C$ на виході відповідно зон 1, 2 і 3. Динаміка зон представлена передатними функціями $W = \exp(\tau_i)/(T_i p + 1)^2$, які з достатньою для практичних цілей точністю описують процес нагрівання. Зовнішні неконтрольовані збурення $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$ відбивають вплив на процес нагрівання зовнішніх факторів, у моделі вони приведені до входів у зонах нагрівання і їх вплив виражається в $^{\circ}C$. При цьому слід зазначити, що інтенсивність збурення $f_1(t)$ найбільша, оскільки воно пов'язане з нерівномірністю початкової вологості насіння на вході і нерівномірністю його подачі.

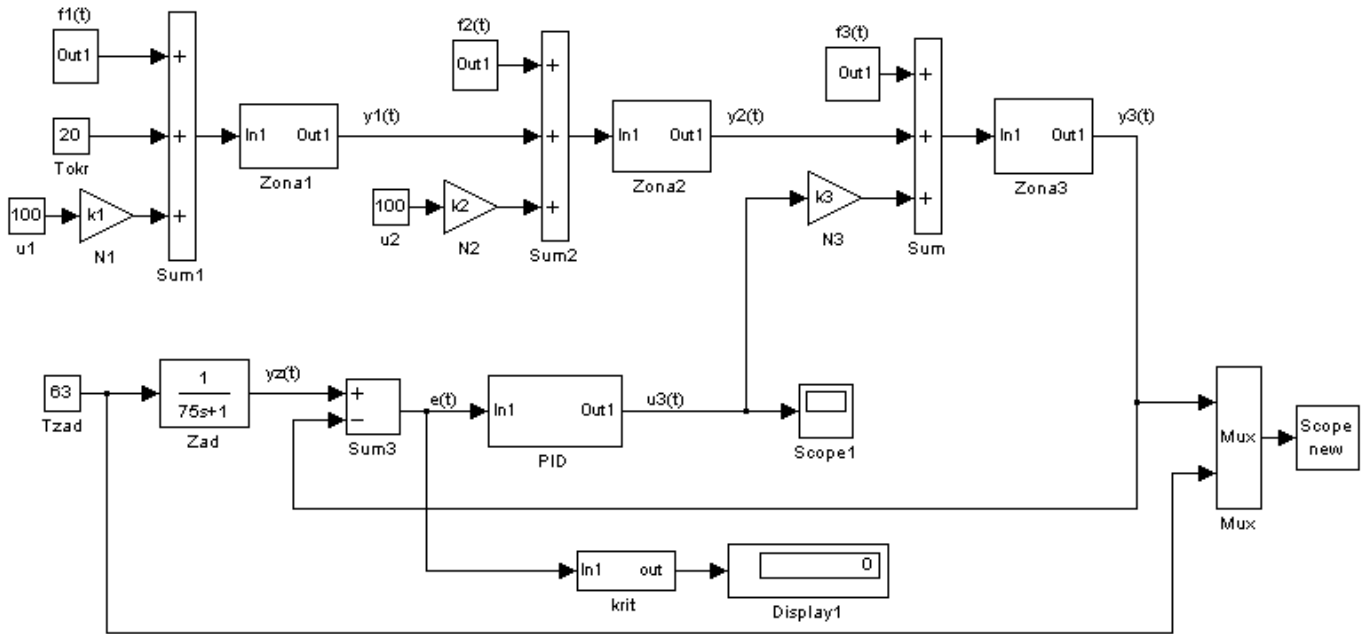


Рис. 5 – Схема моделювання САР сушарки ИКС-1 найпростішої структури

САР найпростішої структури, яку звичайно обирають для простих об'єктів керування, являє собою одноконтурну систему з ПІД-регулятором. У цьому випадку регулятор стабілізує температуру насіння на виході із третьої зони на значенні $t_{\text{зад}} = 63$ °С, змінюючи потужність нагрівача N3. Якість регулювання може бути оцінена, наприклад, за критерієм

$$I = \frac{1}{T_{\text{mod}}} \int_0^{T_{\text{mod}}} |e(t)| dt, \rightarrow \min$$

де T_{mod} – час моделювання, $e(t)$ – помилка регулювання, яка дорівнює різниці між поточним значенням регульованої температури і заданим.

В процесі експлуатації на САР безупинно впливають неконтрольовані виробничі збурення, що приводять до погіршення якості її роботи.

Частково компенсувати вплив, наприклад, збурення $f_1(t)$ на регульовану змінну – температуру в третій зоні можна при використанні САР з компенсацією збурень.

Оскільки температура полотна вібротранспортера на виході з першої зони вимірюється, то можна при цьому побудувати додатковий канал зв'язку, який буде коректувати керуючий вплив регулятора, поліпшуючи якість регулювання. Із цією метою була складена структурна схема САР з компенсацією збурення, наведена на рис.6.

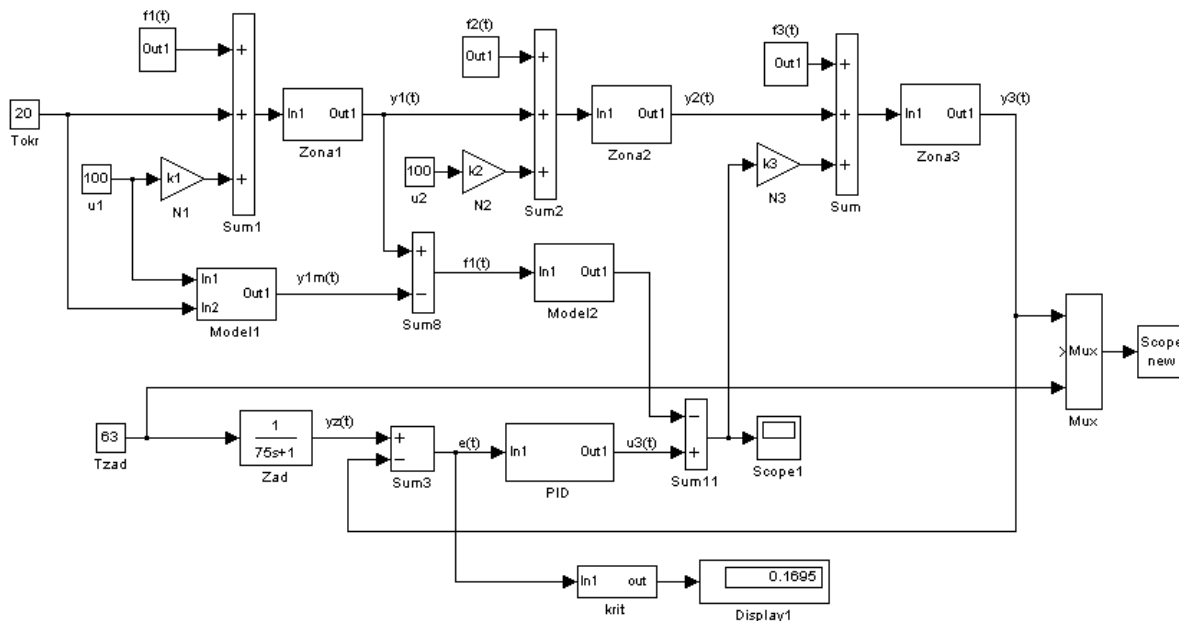
При цьому слід зазначити, що необхідною умовою використання даної структури є адекватність моделей першої і другої зон нагрівання їх реальним динамічним властивостям. Із цією метою на дослідно-промисловому зразку сушарки ИКС-1 були експериментально визначені перехідні характеристики зон нагрівання, а по отриманих при цьому результатах побудовані відповідні моделі. У процесі дослідно-промислової експлуатації сушарки в 2017 р. було зроблене припущення, що для зниження коливань при пуску системи задатчик у даній САР повинен бути інерційним (блок Zad на рис.6) з передатною функцією

$$W(p) = 1/(5 * T_i p + 1).$$

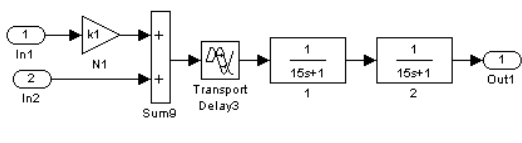
Результати досліджень

При параметричному синтезі раціональної САР було проведено комп'ютерне моделювання системи в різних режимах її роботи. Деякі з результатів наведені в даній публікації.

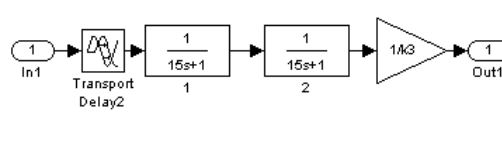
На рис. 7а показані динамічні характеристики зон нагрівання сушарки ИКС-1 як об'єктів керування, а також фрагменти сталих режимів з коливаннями кінцевої температури нагрівання насіння під впливом збурень.



а)



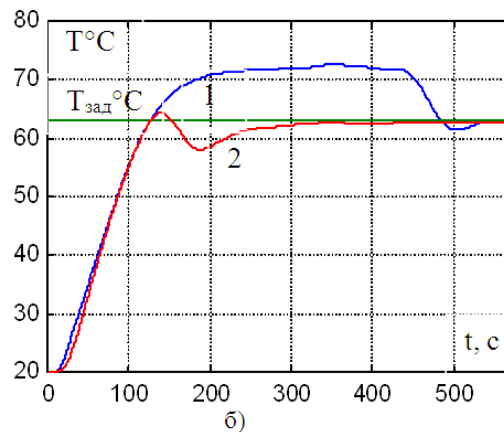
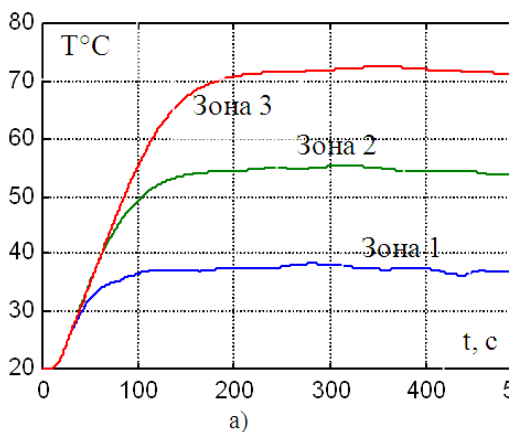
б)



в)

а) схема моделювання з компенсацією зовнішнього збурення $f_i(t)$;
 б) схема моделі першої зони нагрівання (Model 1);
 в) схема моделі другої зони нагрівання (Model 2)

Рис. 6 – Схеми моделювання САР з компенсацією збурень



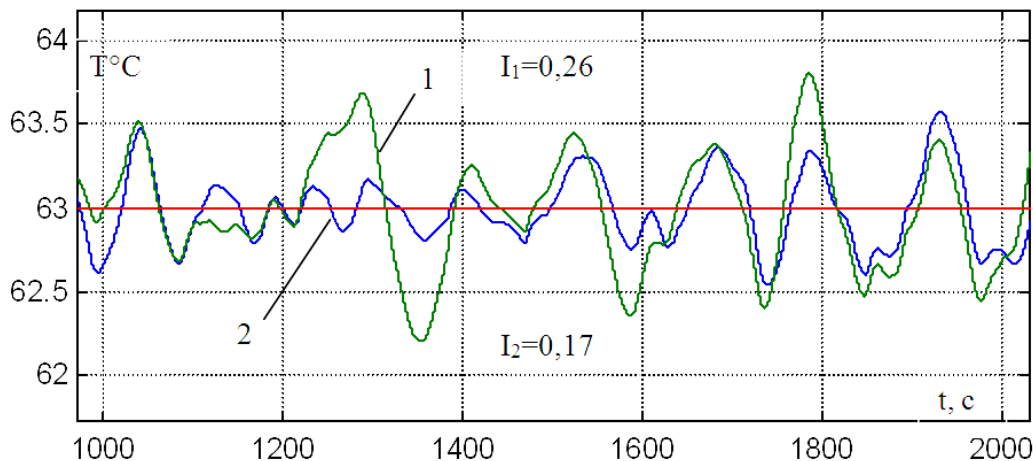
а) – перехідні та сталі процеси в ОК;
 б) – пускові режими САР: 1 – з безінерційним задатчиком;
 2 – з інерційним задатчиком

Рис. 7 – Результати комп'ютерних експериментів

Результати моделювання САР, наведені на рис. 7б, підтверджують доцільність прийнятого припущення про застосування інерційного задатчика. При цьому час виходу на режим і коливання температури при пуску системи, які викликані запізненням у контурі регулювання і обмеженням керуючого впливу регулятора, знижуються.



Деякі результати порівняльного дослідження різних САР при дії випадкових збурень наведені на рис. 8.



1 – фрагмент змін регульованої змінної у звичайній САР;
2 - фрагмент змін регульованої змінної в САР з компенсацією збурень

Рис. 8 – Порівняльні результати моделювання САР

Використання запропонованої структури САР з компенсацією впливу збурення $f_1(t)$ за інших рівних умов дозволило знизити (крива 2) амплітуди коливань і значення критерію якості регулювання. Дана структура САР може бути ефективно використана на практиці.

Реалізація запропонованої САР може бути легко здійснена програмним шляхом з використанням вітчизняного мікропроцесорного контролера, наприклад, типу МІК-52 фірми «Мікрол».

Випробування розроблених систем і устаткування

З метою перевірки ефективності запропонованих нами рішень були виготовлені зменшені фізичні моделі устаткування для первинної переробки вторинної сировини виноробства.

Восени 2017 р. ці моделі були піддані випробуванням на Одеському заводі кісточкових і рослинних олій. Успішність випробувань відкрила дорогу подальшому вдосконалюванню наших розробок. У наслідку були виготовлені і дослідно-промислові зразки устаткування, які також пройшли випробування на ОЗКРО.

При випробуваннях у якості сировини використовувалися вологі (55 ± 2 %) вичавки винограду, а висушені зразки насіння, шкірочки, порошку з макухи насіння оцінювали згідно зі стандартними методиками [6, 7, 8].

Досліджувалися різні режими роботи устаткування, вплив ряду факторів, серед яких зміни маси і швидкості руху сировини в зонах обробки, кількості проходів сировини, температурні режими та ін.

Так, наприклад, при дослідженні дослідно-промислового зразка інфрачервоної сушарки виноградного насіння ІКС-1 було встановлено, що значення середньої кінцевої температури насіння 63 ± 2 °С після ІЧ-нагрівання відповідає значенню 8-10 % вологості на виході із сушарки, а «час перебування» у зонах сушіння при цьому становить близько 2 хвилин.

Восени 2018 р. розроблені нами дослідно-промислові зразки устаткування пройшли «польові випробування» у господарстві «Фрумушика-Нова» Тарутинського району Одеської області (рис. 9).

Сепаратор виноградного насіння СВС-2, ІЧ-сушарка ІКС-1 і дробарка виноградних гребенів ДГВ-2 були змонтовані на відкритому майданчику господарства і використовувалися для первинної переробки виноградних вичавків і гребенів, що надходили з місцевого винзаводу.

Отримані при цьому напівфабрикати послужили сировиною при їхній подальшій переробці відповідно розглянутій раніше схемі (див. рис. 1) на ОЗКРО.

У процесі експлуатації розробленого нами устаткування були виявлені та усунуті окремі недоліки, відпрацьована технологія його обслуговування. Зразки готових продуктів були піддані лабораторним аналізам.

У цілому випробування пройшли успішно, підтвердивши заявлені характеристики розроблених систем автоматизації і устаткування.



1 – сепаратор виноградного насіння СВС-2; 2 – інфрачервона сушарка ИКС-1;
3 – дробарка гребенів винограду ДГВ-2.

Рис. 9 – Випробування розробленого устаткування в господарстві «Фрумушка-Нова»

Висновки

1. Переробка вторинної сировини виноробства є важливим народногосподарським завданням.
2. Розроблена раціональна для Одеського регіону технологічна схема переробки виноградних вичавків і гребенів.
3. Розроблений і виготовлений ряд дослідно-промислових зразків устаткування для реалізації цієї технологічної схеми.
4. Розроблена, досліджена, змонтована і налагоджена САР інфрачервоної сушарки виноградного насіння.
5. Проведені успішні випробування розроблених зразків систем і устаткування в лабораторних і заводських умовах на Одеському заводі кісточкових і рослинних олій, а також в «польових умовах» агрогосподарства «Фрумушка-Нова».
6. Комплекс розробленого вітчизняного устаткування може бути рекомендований для ефективної переробки вторинної сировини виноробства в Україні і Молдові.

Список використаних джерел

- [1] Концептуальное и экономическое обоснование эффективности кластерного подхода к переработке вторичного сырья виноделия / В.Н. Осипов, Л.А.Осипова, О.А. Ермакова и др.; Проект «Развитие украинско-молдавского приграничного производственно-научно-образовательного кластера по переработке вторичных продуктов виноделия», German Соор., Территориальное сотрудничество стран Восточного партнерства. Кишинев: Wons Offices, 2018. 36 с.
- [2] Спосіб автоматично керованого подрібнення макухи олійних культур та пристрій для його здійснення: пат. 77864 Україна: МПК(2006) В02С 9/00, В02С 25/00. № а200504070; заявл. 28.04.2005; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
- [3] Спосіб автоматично керованої термообробки зерна: пат. 89433 Україна: МПК(2009) В02В 1/00, В02В 5/00, F26В 3/28, F26В 3/32, F26В 17/18. № а200804758; заявл. 14.04.2008; опубл. 26.10.2009, Бюл. №2.
- [4] Спосіб автоматично керованого сушіння насіння: пат. 113670 Україна: МПК(2016) А23N 12/00, А23В 9/02 (2006), F26В 3/30 (2006), F26В 3/22 (2006). № а201505514; заявл. 04.06.2015; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.
- [5] Автоматична сушарка насіння: пат. 115077 Україна: МПК(2017) F26В 3/30 (2006), F26В 3/22 (2006), F26В 11/00, А23N 12/08 (2016), А23В 9/02 (2006). № а201505499; заявл. 04.06.2015; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17.
- [6] ДСТУ 4811:2007. Насіння олійних культур: Методи визначення вологості. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 6 с. (Стандарт Держспоживстандарт України)
- [7] ОСТ 10 108-88. Семена виноградные для промышленной переработки: Технические условия. Москва: Министерство сельского хозяйства, 1988. 7 с.
- [8] СОУ 15.3-37-091:2004. Порошок з макухи насіння винограду: Технічні умови. Київ: Мінагрополітики України, 2004. 12 с. (Стандарт Мінагрополітики України)

References

- [1] V. Osipov, L. Osipova and O. Ermakova, "Konseptualnoe i ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti klasternogo podhoda k pererabotke vtorichnogo syrya vinodeliya", «Razvitie ukrainsko-moldavskogo prigranichnogo proizvodstvenno-nauchno-obrazovatel'nogo klastera po pererabotke vtorichnyih produktov vinodeliya», p. 36, 2018.



- [2] "Sposib avtomatichno kerovanogo podribnennya makuhi oliynih kultur ta pristryi dlya yogo zdiysnennya", UA 77864, 2007.
- [3] "Sposib avtomatichno kerovanoyi termoobrobki zerna", UA 89433, 2009.
- [4] "Sposib avtomatichno kerovanogo sushynnya nasynnya", UA 113670, 2017.
- [5] "Avtomatichna susharka nasynnya", UA 115077, 2017.
- [6] DSTU 4811:2007, "Nasynnya oliynih kultur: Metodi viznachennya vologosti", Standart Derzhspozhivstandart Ukrayini, Kiyiv, 2008.
- [7] OST 10 108-88, "Semena vinogradnyie dlya promyishlennoy pererabotki: Tehnicheskie usloviya", Ministerstvo selskogo hozyaystva, Moskva, 1988.
- [8] SOU 15.3-37-091:2004, "Poroshok z makuhi nasInnya vinogradu: Tehnichni umovi", Minagropolitiki Ukrayini, Kiyiv, 2004.

UDC 18:011.56:502.33

FEATURES OF THE TECHNICAL OBJECTS CONTROL WITH REGISTRATION THEIR WEAR-OUT

Voinova S.A.

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

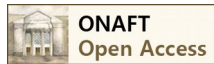
ORCID: 0000-0003-0203-0599

E-mail: voinova_s@yahoo.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1228](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1228)

Abstract: *The operation of technical objects is subject to the regulatory conditions established by their manufacturer. Regime of regulatory conditions keeping needs to be controlled. A new technical object at the time of commissioning has an initial, maximum level of technological efficiency of operation, including ecological, economic and general technical components, and has an initial, complete working capacity resource too. During operation, the technical object wears-out, its technological efficiency is reduced. In accordance with the international standard and the standard of Ukraine, a technical object that has exhausted a resource is subject to decommissioning and replacement with a new technical object, since at a level of technological efficiency that is less than the minimum, the use of technical object is inexpedient. However, in the current difficult economic conditions in Ukraine, the replacement of worn-out equipment with a new one is impracticable. Further use of worn-out equipment is inevitable. To control a worn out object, complex automation is required. The technical object is studied in this direction from three positions. The first is to study the process of wearing-out. The second is the prediction of wearing-out dynamics. The third is the object control in the process of its wearing-out. The development of the theory and practice of worn out objects automating leads to the formulation of new tasks. With long-term operation of the equipment, it is necessary to periodically adjust its characteristics. It is necessary to create adaptive automatic control systems that take into account the degree of equipment wear-out and conditions of its operation. It is important to establish the patterns of influence of the current state of the equipment and the operating conditions on its residual resource. A productive way to increase the efficiency of worn-out equipment is its renovation by implementing measures that increase the level of efficiency of the most worn-out elements of technical objects. The technical objects control with registration their wear-out will ensure compliance with the regulations for their operation.*

Keywords: technical object, regulatory conditions, wear-out, control, technological efficiency, automation, renovation.

Introduction

The stagnant development of world production, which began in the middle of the last century and continues today, has led to a complication of its state. In Ukraine, as in other countries, in the fleet of operating equipment, the proportion of technical objects (TO) that have spent their working capacity resources has increased prohibitively. For example, in the most advanced



industry - power engineering - more than 95% of the existing boiler equipment has worked more than 1.5-2.5 resources. The level of technological efficiency of worn-out equipment is lower, the longer it functions after the completion of its resource use. Such equipment needs to be renovated in order to improve its technological efficiency. The next, higher level of renovating a technical object is the renovating of the control system of a technical object with regard to its wear-out.

The problem of increasing the technological efficiency of worn-out equipment has been formed and continues to worsen. The significance and scope of the required varied efforts to solve the problem are of the state level and of paramount importance. The program of measures to solve the problem is complex, very resource-intensive and urgent.

The most important condition for successfully solving this set of problems is to ensure high-quality control of all stages and parts of the process of solving it.

One of the elements of the problem is the task of technical objects control with registration their wear-out.

A new TO at the time of commissioning has an initial, maximum level of technological efficiency of operation, including ecological, economic and general technical components, and has an initial, complete working capacity resource too. In practice, the level of technological efficiency of TO is judged by the level of one of the three components listed above, which is accepted as the leading one for this TO.

From the moment of putting into operation, TO begins the expenditure of a resource, wears out. This leads to a continuous decrease in the level of its technological efficiency, all its components. In this case, the residual working capacity resource is reduced.

At the moment of the completion of the expending (i.e. exhaustion) of the resource, the TO reaches its limit state, the level of its technological efficiency reaches its minimum permissible value.

In accordance with the international standard and the standard of Ukraine, a TO that has exhausted a resource is subject to decommissioning and replacement with a new TO, since at a level of technological efficiency that is less than the minimum, the use of TO is inexpedient, if to proceed on generally accepted standards and requirements for the degree of perfection of relevant existing TO.

The TO working capacity resource, declared by its manufacturer, can be realized if the regulatory conditions of operation specified by the manufacturer are observed. Regulatory conditions are a complex set of interrelated technical and organizational factors. To comply with the regulatory conditions, the maintenance regime for this complex must be controlled. This control task is very difficult. In particular, due to the need to renovate the traditional control process, taking into account wear-out.

As it's known, the operated technical object wears-out. The level of its technological efficiency decreases. The patterns of this process are complex and insufficiently studied. This set of questions is the subject of technical gerontology (TG).

Statement of problem

The solution of the TG problems is based on the optimization of the operating mode of TO, which can be implemented only through the use of their integrated automation. At the same time, it is necessary to use the entire arsenal of automation equipment, all its elements, and above all, control, regulation, blocking, protection, alarms, and technical diagnostics.

It is assumed that the TO is initially equipped with traditional means of automation, which help to solve common technological problems. Realignment to automation in accordance with the rules and regulations of the TG puts forward new elements of technological problems, sometimes requiring an unconventional approach to finding ways and means to solve them. It puts forward new tasks within each of the three functions of the TG as a scientific discipline [1 - 4].

Solutions of problem

Let us dwell on the functions of the TG.

1. The TO studying with registration their continuous wear-out (primarily due to the degradation of structural materials by strength properties) during operation.

2. Prediction (forecasting) of the process of wear-out of objects in time.

3. Object control taking into account the process of their wear-out in time, which is equivalent to the indirect control of this process.

Within the framework of the first function, it is necessary to study in depth a number of issues, including the following:

- factors affecting the condition of the TO; means of obtaining signals proportional to the current level of physical quantities, which act as such factors;

- the separation of these factors into the ones which depend on the properties of TO and the regime factors which do not depend;

- mechanism, character, direction, intensity of the impact of these factors (static characteristics);

- the consequences of their long-term effects on TO, i.e. signs of wear-out (dynamic characteristics of output parameters, first of all - strength and other service properties of structural materials in technologically especially important details, properties of the surface layer on their working surfaces, deformation of gaps in joints, regime of appearance and development of cracks, etc.);

- the dynamics of change in the state of TO (its reaction) under the action of various factors individually and in their totality;



- methodology and method for assessing this state based on the analysis of data about its reflecting parameters, characteristics of TO;

- indicators (characteristics) of the properties and state of important parts and TO as a whole, the level of which should be affected by the automatic control system (ACS) in the framework of solving the general task of control of TO wear-out ; means of receiving signals proportional to the current level of such indicators;

- technological process parameters that characterize the mode of TO operation, the value of which can be used in automation to solve this problem; means of receiving signals which proportional to the current level of these parameters.

In the second function, the following is necessary:

- to have information about the properties, TO state and mode of operation at the previous stage;

- to have the results of solving the problems of the first function;

- to have information about the permissible deviations of the controlled parameters of the TO state (for example, about the permissible degree of degradation of structural materials by strength parameters) and the technological process at the upcoming stage of their operation;

- to have a technical assignment for the projected phase of the TO operation, which contains information about the upcoming mode of operation and the allowable degree of wear;

- to perform the estimated forecast of TO wear-out and tear at the upcoming stage of their operation;

- to develop organizational-technical regulation for the TO control at the upcoming stage of their work.

As part of the third function, the following is necessary:

- to ensure the collection of current operational information about the TO state and the state of the technological process, their processing, generalisation and analysis;

- based on the current results of the analysis, promptly to diagnose the state of the TO in real time (or with an admissible small delay);

- on the basis of the obtained data, to work out an the control algorithm for the process of wear-out and tear for the next period;

- to ensure the operation of the ACS of process TO wear-out in accordance with the regulations drawn up according to the norms of the TG;

- to carry out the necessary scientific procuring and technical service of ACS of wear-out process.

It should be noted that the evolution of TG puts forward a number of new technological tasks within each of the three above mentioned functions. In this regard, in relation to the field of this scientific discipline before the theory and practice of automation, features of solving traditional problems appear, new problems arise. Among the latter are the following:

- identification of objective unambiguous clear signs of TO wear-out, free from the influence of any factors except its condition;

- the transformation of these signs into a useful technologically expedient signal of full value metrologically , changing its parameters and transferring it to the automation system;

- creation and development inside the existing systems of technical diagnostics of the element (unit) responsible for assessing the condition (degree of wear-out) of TO, taking into account their operating time (age);

- creation in the automation system of a contour of software control of the TO wear-out process, containing elements of logic and designed to extremely slow down this process, to ensure a high degree of adaptation of TO to operation conditions, to assess their condition, to optimize the operation mode taking into account the degree of wear-out, to evaluate the residual working capacity resource.

Traditional ACS are customized with regard to the actual static and dynamic characteristics of TO in controlled areas of the technological process. Over time, due to the wear-out of objects, these characteristics undergo changes. Therefore, for equipment used for a long time, it is necessary periodically to do testing and adjust the characteristics. This is one of the elements of novelty in the application of traditional automation.

The radical solution of the problem is to create such ACSs of TP that would allow to optimize the process of control of objects taking into account their continuously changing state throughout their operation. This solution should be based on the use of special adaptive self-adjusting ACS in which the adaptation node operates according to an algorithm that takes into account the current state (degree of wear-out) of the TO and the conditions of their operation.

The wear-out control program should primarily concern the most vulnerable parts of TO, i.e. those that determine their condition throughout the campaign. In practical conditions, the adjustment of the program or its individual fragments is inevitable. In particular, after the reconstructive repair of the mentioned vulnerable parts of TO, it is necessary to make corrections in the appropriate places of the program. In this sense, the adaptability of the wear-out management program must be high.

To create new ACS by the TO wear-out process, to develop new algorithms, it is necessary to know the regularity of the influence of the current state of TO, conditions and duration of operation on the properties and residual resource of these objects. Data collection to establish these regularities is an important and urgent scientific and technical problem. It has significant features in each of the areas of production, in each of the real TO.

It is essential to reflect the tasks of the TG in the curricula of universities [5].



Conclusions

1. The operation of technical objects is subject to the regulatory conditions established by their manufacturer.
2. Regime of regulatory conditions keeping needs to be controlled.
3. During operation, the technical object wears-out, its technological efficiency is reduced.
4. To control a worn out object, complex automation is required.
5. A worn-out technical object is studied from the standpoint of studying the process of wearing-out, predicting the dynamics of wear-out, and controlling the object in the process of its wear-out.
6. With long-term operation of the equipment, it is necessary to periodically adjust its characteristics.
7. It is necessary to create adaptive automatic control systems that take into account the degree of equipment wear-out and conditions of its operation.
8. It is important to establish the patterns of influence of the current state of the equipment and the operating conditions on its residual resource.
9. Control of technical objects with regard to their wear-out ensures compliance with the regulations for their operation.
10. A productive way to increase the efficiency of worn-out equipment is its renovation by implementing measures that increase the level of efficiency of the most worn-out elements of technical objects.
11. The technical objects control with registration their wear-out will ensure compliance with the regulations for their operation.

References

- [1] Voinova S.O. Tehnichna gerontologiya yak naukova distsiplina. Zmist. Mistse. Priznachennya / Mater. n.-t. konf. «Novyye i netraditsionnyie tehnologii v resurso- i energosberezhenii», 28-29 sent. 2006g., Odessa - Kiev: ATM Ukrainyi, 2006.- S. 16 - 20.
- [2] Voinova S.O. Tehnichna gerontologiya i yakist roboti znoshenogo ustatkuvannya / Mater. VI Mezhdunar. n. – praktich. konf «Kachestvo, standartizatsiya, kontrol: teoriya i praktika», 26-28 sent. 2006g., Yalta. – Kiev: ATM Ukrainyi, 2006. - S.14 - 16.
- [3] Voinova S.A. Tehnicheskaya gerontologiya. Potentsial vliyaniya na effektivnost funktsionirovaniya tehniceskikh ob'ektov / Mater. za VI Mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya «Naynovite postizheniya na evropeyskata nauka-2010», 17 - 25 yuni, 2010g. Tom 20 «Tehnologii. Fizicheska kultura i sport».- Sofiya: «Byal GRAD-BG» OOD, 2010.- S. 79 - 84.
- [4] Voinova S.O. Upravlinnya tehnicnimi ob'ektami i tehnichna gerontologiya / Schokvartalniy nauk.-virobn. zhurnal «Avtomatizatsiya tehnologichnih i biznes-protsesiv», 2011, № 7, 8.– Odesa: ONAHT, 2011.– S. 20 - 23.
- [5] Voinova S.A. Mesto tehniceskoy gerontologii v spetsialnyih distsiplinah tehniceskogo vuza / Zb. tez. dopov. 32-yi nauk. – metod. konf. vkladachiv ODAHT “Problemi metodichnogo zabezpechennya bagatostupenevoy vischoyi osviti”, Odesa, 10-12 kvitnya 2001r. – Odesa: Minosviti Ukrayini, 2001. – S. 46.

Список использованных источников

- [1] Воїнова С.О. Технічна геронтологія як наукова дисципліна. Зміст. Місце. Призначення / Матер. н.-т. конф. «Новые и нетрадиционные технологии в ресурс- и энергосбережении», 28-29 сент. 2006г., Одесса - Киев: ATM Украины, 2006.- С. 16 - 20.
- [2] Воїнова С.О. Технічна геронтологія і якість роботи зношеного устаткування / Матер. VI Междунар. н. – практич. конф «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика», 26-28 сент. 2006г., Ялта. – Киев: ATM Украины, 2006. - С.14-16.
- [3] Воїнова С.А. Техническая геронтология. Потенциал влияния на эффективность функционирования технических объектов / Матер. за VI Международна научна практична конференция «Найновите постижения на европейската наука-2010», 17 - 25 юни, 2010г. Том 20 «Технологии. Физическа культура и спорт».- София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2010.- С. 79-84.
- [4] Воїнова С.О. Управління технічними об'єктами і технічна геронтологія / Щоквартальний наук.-виробн. журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів», 2011, № 7, 8.– Одеса: ОНАХТ, 2011.– С. 20-23.
- [5] Воїнова С.А. Место технической геронтологии в специальных дисциплинах технического вуза / Зб. тез. допов. 32-ї наук. – метод. конф. викладачів ОДАХТ “Проблеми методичного забезпечення багатоступеневої вищої освіти”, Одеса, 10-12 квітня 2001р. – Одеса: Міносвіти України, 2001. – С.46.



УДК 681.51

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ПЕЛЬМЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ОСОБЫХ ФОРМ

Голубков П.¹, Путников Д.², Егоров В.³, Похлебина Н.⁴, Габуев К.⁵, Гонгало В.⁶^{1,2,3,4,5,6} – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, УкраинаORCID: ¹0000-0002-7663-6772; ²0000-0003-2577-8858; ³0000-0003-4699-834X; ⁴0000-0002-9789-608X, ⁵0000-0003-0704-9774; ⁶0000-0002-5392-6574.E-mail: ¹pavelsergeevichgolubkov@gmail.com, ²ulkiorrira@gmail.com, ³mechatronics.robotlab@gmail.com, ⁴nadin_design@ukr.net, ⁵kostyacart@gmail.com, ⁶skipper9629@gmail.com.

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1231](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1231)

Аннотация: В работе рассматривается синтез системы автоматического управления нагревом теста в процессе приготовленияпельменной продукции сложной труднореализуемой кубической формы. Так как, в процессе производства продукта необходимо поддерживать заданную положительную температуру теста, находящегося на замороженном фарше, то задача управления технологическим процессом сведена к задаче регулирования температурного режима на нагревательных элементах оборудования. В работе также рассмотрена система автоматической оптимизации заданного значения температуры в зоне лепкипельменной продукции, которая в соответствии с математической моделью дает возможность, используя полученные температурные значения, рассчитать и проверить в реальном времени необходимые для получения выпускаемой продукции, значение температурного режима согласно установленным регламентам. Результаты работы системы произведены в пакете Simulink мощного программного обеспечения Matlab, предназначенного для математического моделирования различных технологических процессов и проверены активными экспериментами, что наглядно иллюстрируется графиками переходных процессов. Оборудование, на котором производились активных эксперименты имеет три зоны подогрева теста изготавливаемойпельменной продукции и две зоны формования. В зонах подогрева система управления производственным процессом получает данные о температуре теста и выдаёт управляющие сигналы на нагревательные элементы. Расчеты производятся в каждой зоне отдельно и параллельно производится расчет математической модели. Имея математические модели САР производит расчеты и сравнительный анализ в режиме реального времени, используя таблицу регламентных значений.

Abstract: It is discussed in this paper the synthesis of the automatic control system for heating the dough in the process of preparing ravioli products of a complex cubic form. Since, during the preparation of the product, it is necessary to maintain the desired positive temperature of the dough, which is on frozen mincemeat, the task of controlling the technological process is defined as the task of regulating the temperature mode on the equipment heaters. It is also discussed in this paper the system for automatically optimizing the temperature setpoint in the zone of ravioli, which, in accordance with the mathematical model, makes it possible, using the obtained temperature values, to calculate and check in real-time the temperature mode according to the established regulations value required for the production. The results of the system produced in the Simulink package of program Matlab that is used for mathematical modelling of various technological processes and verified by active experiments, which are vividly illustrated by transient graphs. The equipment on which the active experiments were carried out has three zones for heating the dough of manufacturing ravioli products and two molding zones. In heating zones, the process control system receives data about the dough temperature and provides control signals to the heating elements. Calculations are made in each zone separately and in parallel the calculation of the mathematical model is made. Having mathematical models SAR performs calculations and comparative analysis in real time using the table of established values.

Ключевые слова: синтез САУ процессом нагревапельменя кубической формы, САР температуры нагрева тестапельменя, САО температуры нагрева тестапельменя, полуфабрикатыпельменной продукции.



Key words: synthesis of SAC by ravioli heating process, SAR by ravioli heating temperature, SAO by ravioli heating temperature

Целью работы является синтез системы автоматического управления процессом нагрева пельменной продукции особых форм.

Достижение цели осуществляется при выполнении следующих **задач**:

- 1) Синтез многомерной системы автоматического регулирования температуры нагрева теста для производства пельменной продукции в зонах оборудования;
- 2) Синтез системы автоматической оптимизации температуры нагрева теста пельменной продукции в третьей зоне оборудования, согласно регламентных значений.

Суть работы: В процессе приготовления пельменной продукции тесто с положительной температурой непрерывно находится в контакте с замороженным фаршем. Температура фарша равна температуре заморозки и может быть от -40°C до -15°C . По технологии для приготовления пельменной продукции тесто должно иметь температуру не ниже 23°C . Однако, из-за того, что тесто находится в контакте с замороженным фаршем оно интенсивно охлаждается, в связи с чем в процессе работы необходимо изменять и поддерживать температуру в окрестностях заданных значений согласно таблицы регламентов. Задача управления процессом нагрева теста содержащегося в производимой пельменной продукции сводится к задаче регулирования и поддержания положительной заданной температуры теста и недопущения нагрева замороженного фарша свыше регламентного значения. Синтез системы автоматического управления начинается с задачи определения регламента регулируемых переменных, результаты которой наглядно иллюстрируют с помощью таблицы регламента управляемых переменных.

Таблица 1 – Таблица регламентов

Название параметров	Обозначения	Единицы измерения	Номинальное значение параметра или функция изменения номинального значения	Допустимые отклонения от номинала		
				Длительные ($t \rightarrow \infty$)	Кратковременные ($0 < t \ll \infty$)	
					величина	величина
1	2	3	4	5	6	7
тесто в 1 камере	t_{T1}	$^{\circ}\text{C}$	+25	± 2	± 5	60
тесто в 2 камере	t_{T2}	$^{\circ}\text{C}$	+25	± 2	± 5	60
тесто в 3 камере	t_{T3}	$^{\circ}\text{C}$	+25	± 2	± 5	60
время слепки	τ_{cl}	сек	3-5	± 2	± 5	60
форма пельменя	Sf	-	1	-	-	-

На рис. 1 приведена структурная схема системы автоматического управления процессом нагрева теста производимой пельменной продукции.

Схема состоит из двух подсистем – подсистемы автоматического регулирования и подсистемы автоматической оптимизации. Объектом управления в системе автоматического регулирования является температура теста пельменной продукции в трех зонах. Таким образом, ОУ является многомерным и состоит из 4 управляемых переменных: температура теста в первой зоне T_{n1} , второй зоне T_{n2} , и третьей зоне T_{n3} ; а также времени, в течение которого происходит слепка одной единицы пельменной продукции τ_{cl} . Количество каналов управления также четыре. Принципиальной особенностью схемы является то, что регулирование температуры в каждой зоне осуществляется при помощи своего регулятора. Регулирование осуществляется методом непрерывного измерения температуры теста при помощи датчика температуры, расположенного на лапках поршней цилиндров барабана.

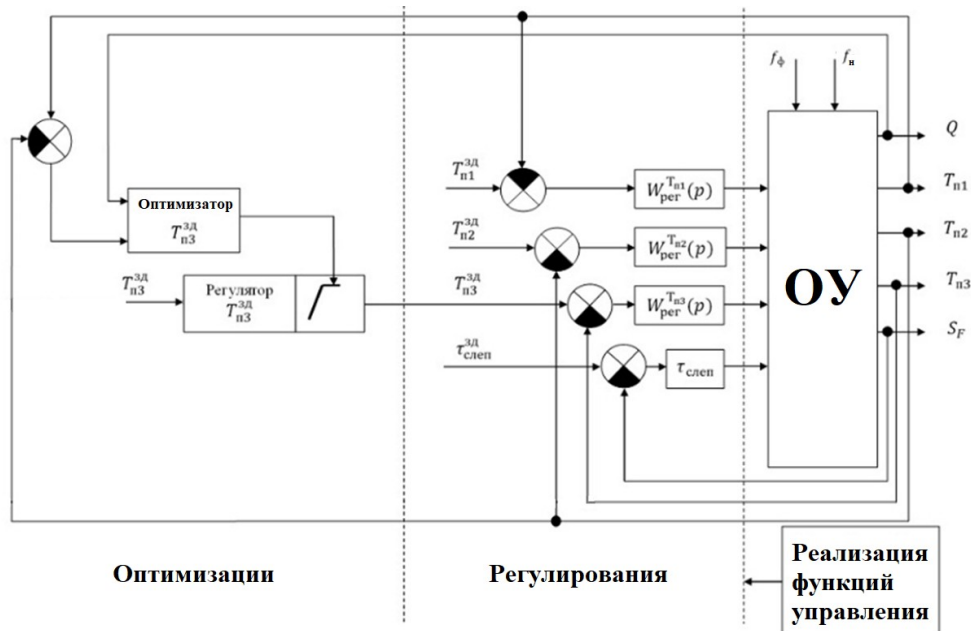


Рис. 1 – Концептуальная структурная схема САУ

Важно подчеркнуть также, что датчик температуры измеряет не температуру самого теста, а температуру на лапках, в которых расположены нагревательные элементы производящие нагрев пельменного продукта. На каждый из информационных каналов датчиков также непрерывно действует возмущающее воздействие в виде отрицательной температуры замороженного фарша, которое приводит к охлаждению теста. Время слепки пельменя, как видно из схемы не регулируется и задано согласно температуры таблицы регламентов. Вторая подсистема реализует функцию оптимизации температурного режима в третьей зоне, посредством использования информации температур в первых двух зонах. Суть ее заключается в изменении заданного значения температуры в третьей камере согласно расчетов, полученных в первых двух камерах для получения пельменной продукции в камере формования. Для решения задачи синтеза системы автоматического управления была построена имитационная модель объекта управления в программе математического моделирования Matlab, а также система управления. Проведены активные эксперименты, подтверждающие работоспособность системы. Структурная схема имитационной модели системы управления приведена на рис. 2.

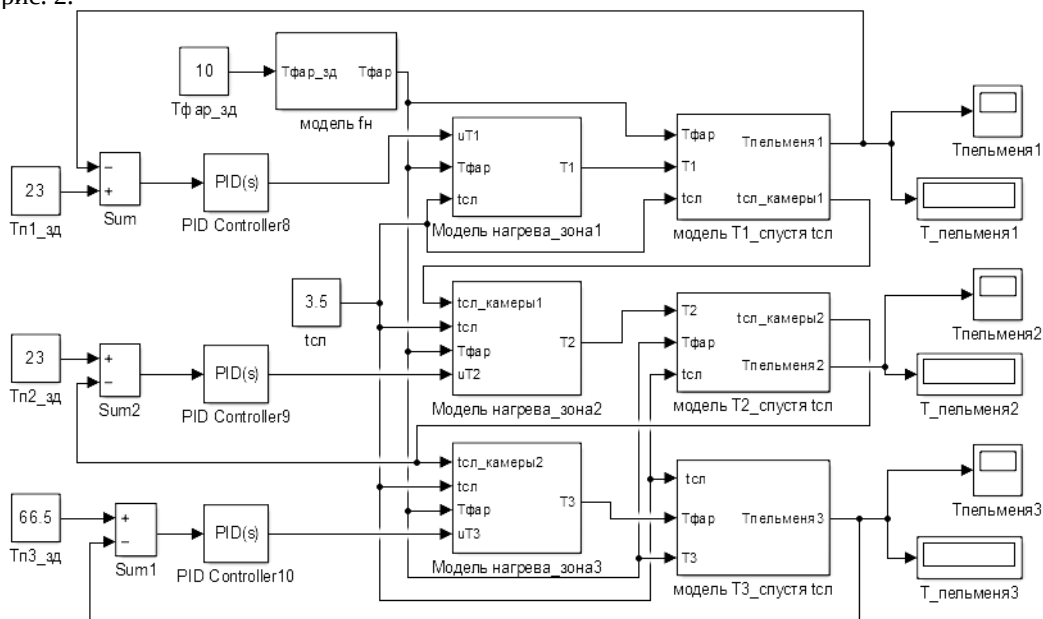
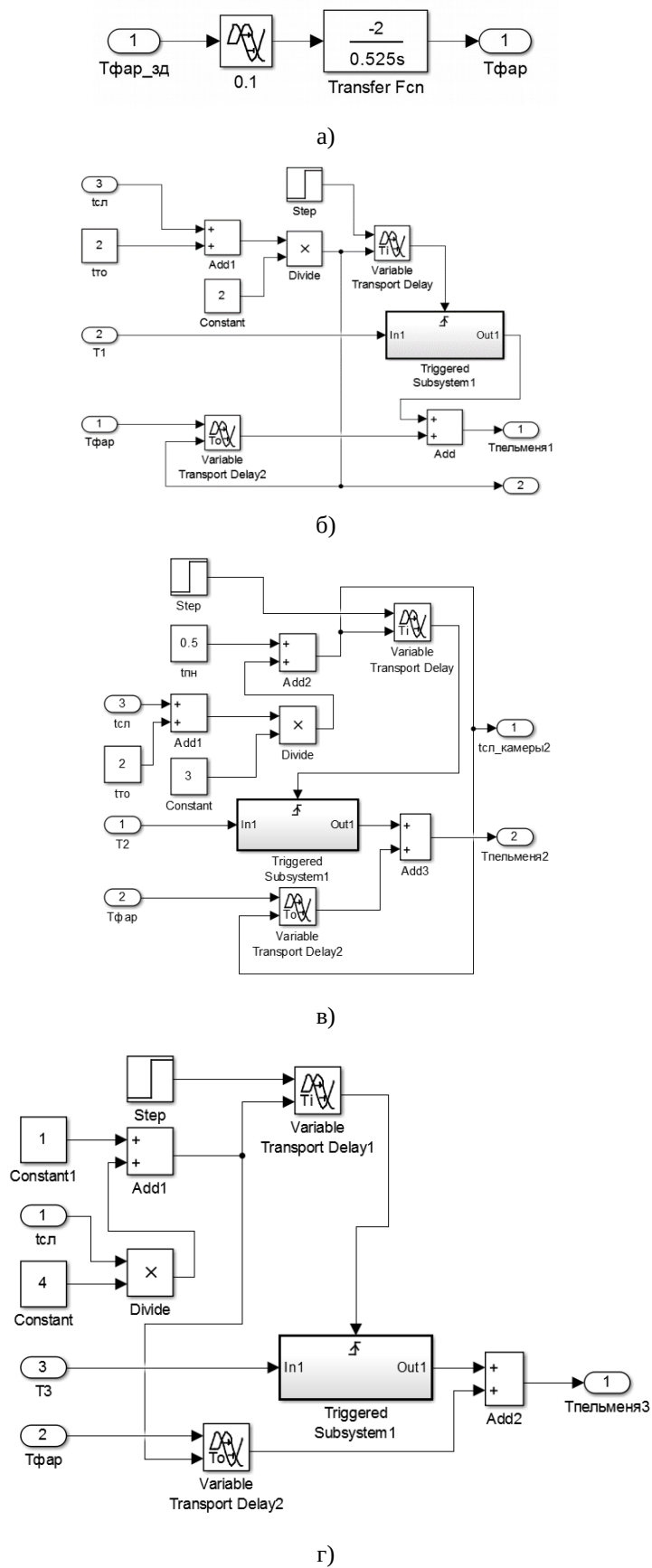
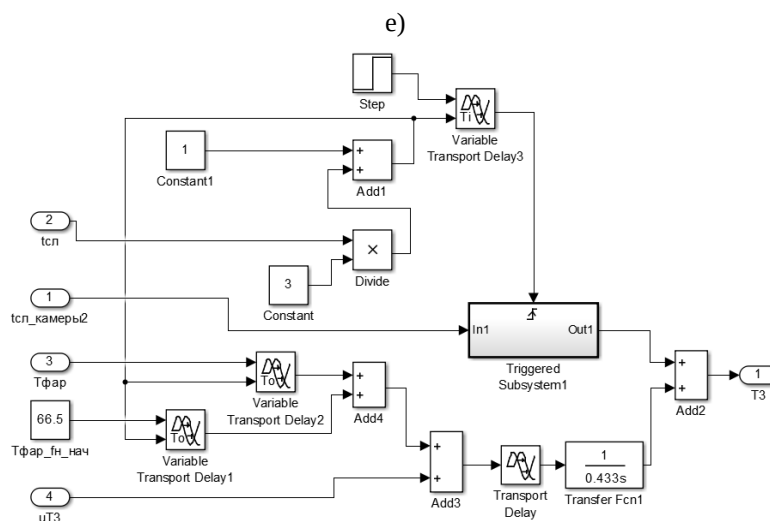
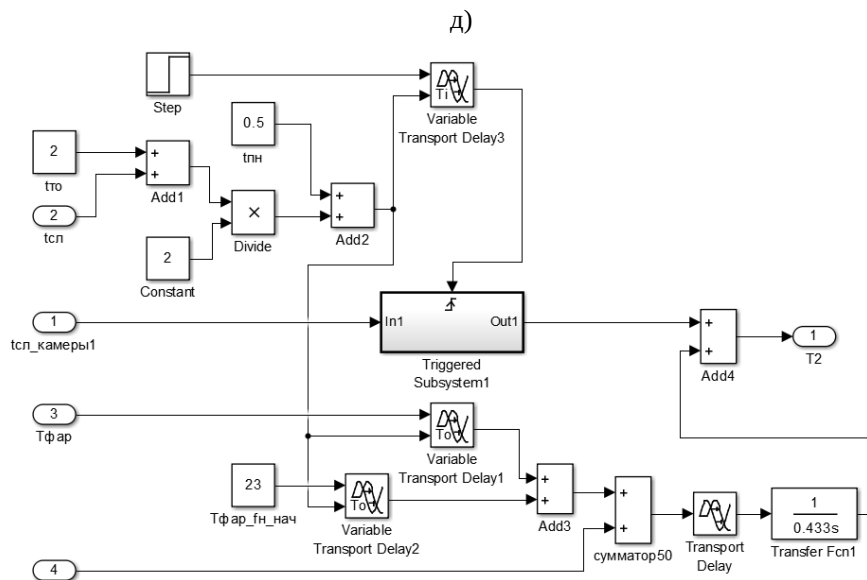
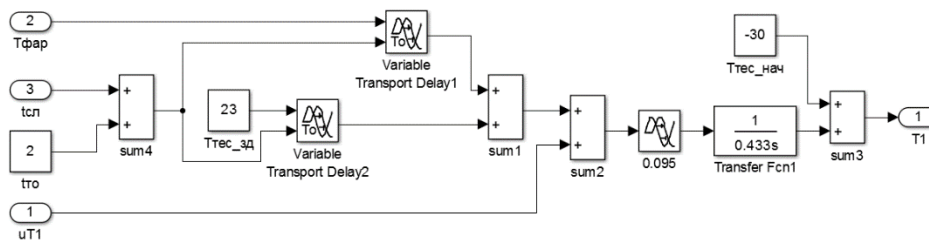


Рис. 2 – Схема моделирования САУ процессом нагрева теста пельменного продукта при автоматическом регулировании температурного режима обработки сырья, вариант регулирования температуры в третьей зоне при фиксированном заданном значении $\theta_3^{зд} = 66,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ и времени слепки пельменя $t_{сл} = 1,5 \text{ с}$



На рис. 3 приводится внутреннее содержимое блоков.





ж)

а – модель неконтролируемых возмущений температуры замороженного фарша; б - модель расчета времени задержки при переходе из зоны приема сырья в первую зону нагрева пельменного продукта; в - модель расчета времени задержки при переходе из первой во вторую зону нагрева пельменного продукта; г - модель расчета времени задержки при переходе из второй в третью зону нагрева пельменного продукта; д - модель нагрева теста пельменного продукта в первой зоне; е – модель нагрева теста пельменного продукта во второй зоне; ж – модель нагрева теста пельменного продукта в третьей зоне пельменного продукта

Рис. 3 – Содержание блоков структурной схемы САУ

В качестве устройства управления использовался регулятор с ПИД законом регулирования, дающий на практике удовлетворительные результаты при решении большинства задач управления, что было подтверждено при проведении активных экспериментов. Для параметрического синтеза ПИД регулятора был использован блок PID



библиотеки Matlab Simulink со встроенным алгоритмом расчета его настроечных параметров. Содержимое блока системы автоматической оптимизации заданного значения температуры третьей камеры показано на рис. 4.

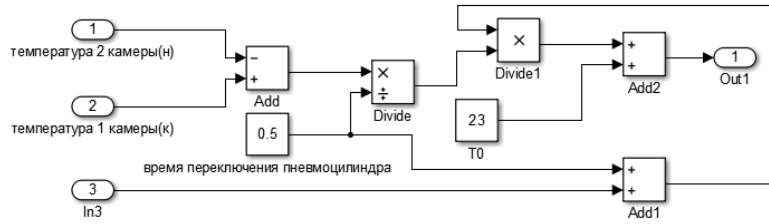
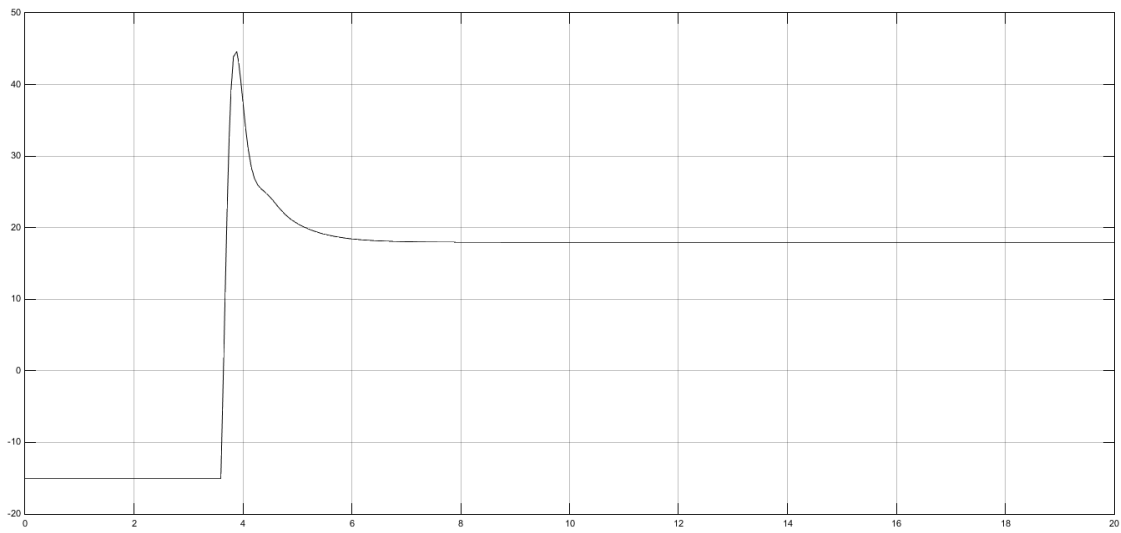
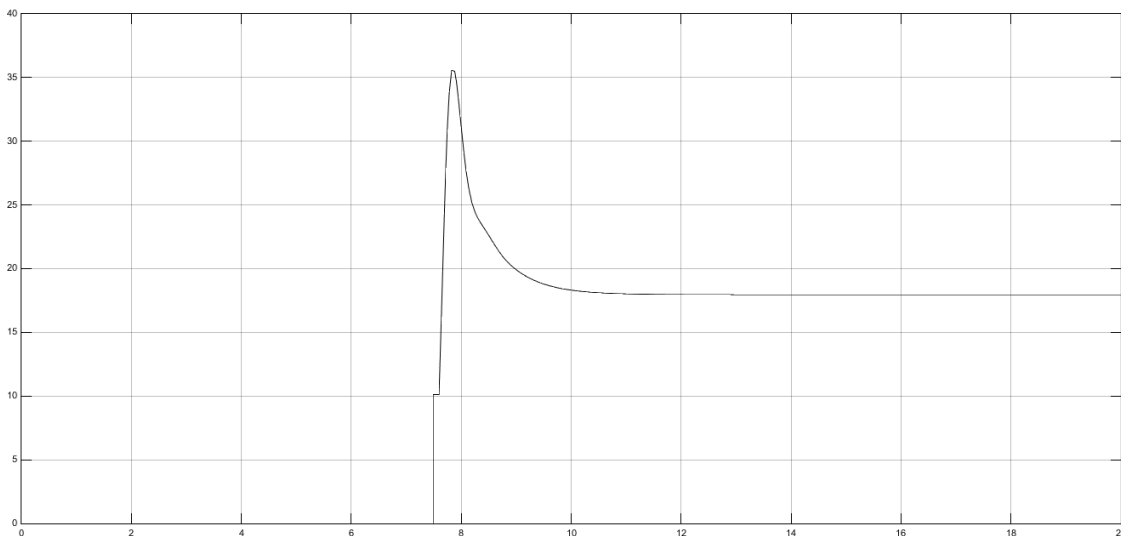


Рис. 4 – Содержимое блока оптимизации заданного значения температуры нагрева теста пельменя в третьей зоне

На рис. 4 приведены результаты моделирования САР имитационной модели с оптимальными настроечными параметрами ПИД-регулятора.



а)



б)

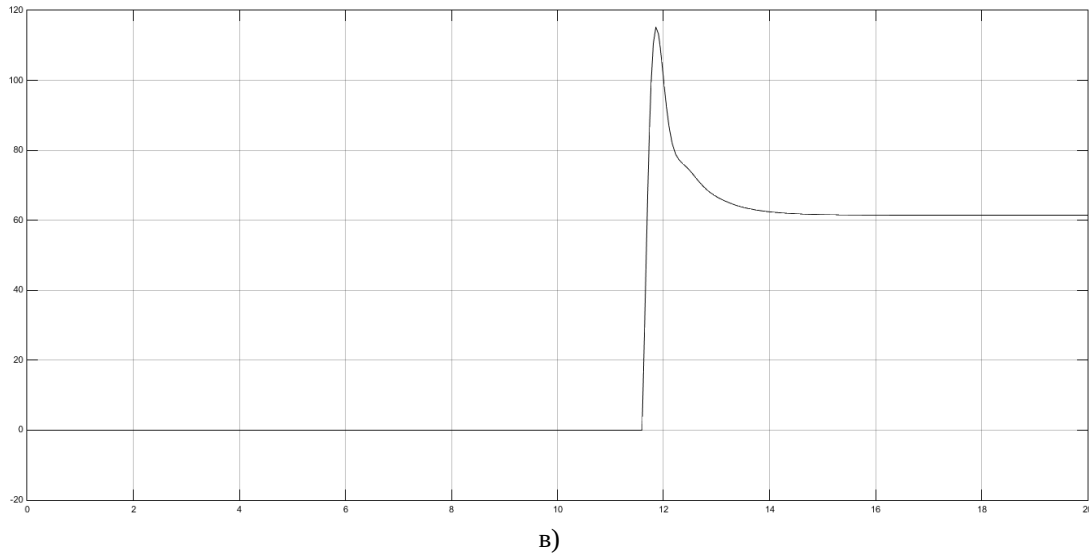


Рис. 5 – Моделирование процесса нагрева теста пельменного продукта при автоматическом регулировании температурного режима обработки сырья для $\theta_1^{зад} = 23^\circ\text{C}$, $\theta_2^{зад} = 23^\circ\text{C}$ и фиксированных значениях заданного значения температуры в третьей зоне $\theta_3^{зад} = 66,5^\circ\text{C}$ и времени слепки $t_{сл} = 1,5 \text{ с}$

Приведенные на рис. 5 графики моделирования процесса нагрева теста пельменного продукта показывают кратковременные выходы регулируемой переменной за рамки допустимых регламентных значений температур, что видно на рис. 5, в. Несмотря на это, выход температуры является кратковременным и не критичным для производства, т.к. в действительности, по результатам проведенных экспериментов, за такой короткий промежуток времени не будет нарушена структура теста и, следовательно, брака продукции не будет.

Выводы.

Приготовление пельменной продукции строгой кубической формы является актуальным направлением, так как, во-первых, такая форма позволяет избежать различных подделок со стороны конкурентов, тем самым повысив доверие конечных покупателей к фирме производителю; во-вторых, пельмени такой формы будут занимать все полезное место в упаковке, тем самым, позволяя экономить на упаковочном материале, а также месте при хранении на складах и транспортировке до 20%. Следовательно, автоматизация процесса приготовления пельменной продукции строгой кубической формы является актуальной задачей.

В результате выполнения поставленных задач на автоматизацию температурного режима обработки пельменной продукции в процессе его приготовления видно, что система автоматического регулирования полностью соответствует регламенту ведения технологического процесса. Следовательно, можем утверждать об экономической составляющей при хранении, изготовлении, фасовке и транспортировке производимой продукции. Применение системы автоматического управления, полученной в ходе синтеза для работы в технологическом процессе производства полуфабрикатов пельменной продукции кубической формы обуславливает экономическую эффективность и сокращает время производства.

Список использованных источников

- [1] Berry M.R., Bradshaw J.G., Kohnhorst A.L. Heating Characteristics of Ravioli in Brine and in Tomato Sauce Processed in Agitating Retorts // *Journal of Food Science*. 1985. № 3 (50). С. 815–822;
- [2] Morgan M.T., Haley T.A. Design of Food Process Controls Systems 2007. 485–552 с;
- [3] Martin C.K. [и др.]. Measuring food intake with digital photography // *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. 2014. № SUPPL.1 (27). С. 72–81;
- [4] Yousefi-Darani A. [и др.]. Closed loop control system for dough fermentation based on image processing // *Journal of Food Process Engineering*. 2018. № 5 (41);
- [5] Lima J., Moreira J.F.P., Sousa R.M. Remote supervision of production processes in the food industry 2016. 1123–1127 с;
- [6] Kolberg D., Zühlke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies 2015. 1870–1875 с.

References

- [1] M. R. Berry, J. G. Bradshaw, and A. L. Kohnhorst, "Heating Characteristics of Ravioli in Brine and in Tomato Sauce Processed in Agitating Retorts," *Journal of Food Science*, vol. 50, no. 3, pp. 815–822, 1985.



- [2] M. T. Morgan and T. A. Haley, "Design of Food Process Controls Systems," in *Handbook of Farm Dairy and Food Machinery*, 2007, pp. 485–552;
- [3] C. K. Martin, T. Nicklas, B. Gunturk, J. B. Correa, H. R. Allen, and C. Champagne, "Measuring food intake with digital photography," *J. Hum. Nutr. Diet.*, vol. 27, no. SUPPL.1, pp. 72–81, 2014;
- [4] A. Yousefi-Darani, O. Paquet-Durand, V. Zettel, and B. Hitzmann, "Closed loop control system for dough fermentation based on image processing," *J. Food Process Eng.*, vol. 41, no. 5, 2018;
- [5] J. Lima, J. F. P. Moreira, and R. M. Sousa, "Remote supervision of production processes in the food industry," in *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, vol. 2016–January, pp. 1123–1127;
- [6] D. Kolberg and D. Zühlke, "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies," in *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 48, no. 3, pp. 1870–1875.

УДК [621.867.3:622.612]:658.5

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ИСТЕЧЕНИЯ ЗЕРНА ИЗ ПОДСИЛОСНЫХ ЗАДВИЖЕК ДЛЯ АСОЗ ПТЛ ПЕРЕГРУЗКИ ЗЕРНА

Кирьязов И.Н.¹, Шестопапов С.В.², Степанов М.Т.³, Хобин В.А.⁴

^{1,2,3,4} – SE Group International, ОНАПТ (Украина)

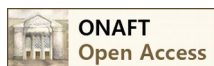
E-mail: ¹ivan.kiryazov@se.ua, ²stanislav.shestopalov@se.ua, ³stepanov197818@gmail.com, ⁴khobin@onaft.edu.ua

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1232](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1232)

Аннотация: Компания S-engineering входящая в холдинг SE Group International занимает лидирующие позиции в области автоматизации технологических процессов зерноперерабатывающей отрасли включая в свои проекты инновационные разработки. В частности компания занимается разработкой инновационных систем автоматической оптимизации загрузки поточно-транспортных линий (АСОЗ ПТЛ) зерновых терминалов. Разрабатываемые системы предназначены для повышения производительности ПТЛ, снижения удельных затрат электрической энергии на перегрузку, предотвращения аварийных ситуаций, связанных с завалами зерна в башмаках норий и навесом бункера весов из-за перегрузки ПТЛ, Указанные задачи решаются системой в условиях формирования потока зерна одновременно из нескольких источников. АСОЗ реализует технологии Leffol & Senumac (L&S), запатентованные SE Group International. Технология LEFFOL: способ контроля степени загрузки конвейера / Method of Loading Efficiency Control. Технология SENUMAC: способ автоматического управления загрузкой поточно-транспортных линий сыпучих материалов / S-engineering Useful Model Method of Automatic Control of Process Shipping line upload of granular materials.

Разработка таких систем включает несколько этапов, одним из которых является этап исследования функционирования ПТЛ, изучение их свойств как объектов управления с целью дальнейшего отражения этих свойств в алгоритмах управления. Особое внимание уделяется изучению подсилосных задвижек, так как их конструкция, размеры, принцип установки значительно влияют на процесс истечения зерна.

В данной статье рассматривается экспериментальное получение математических моделей истечения зерна из подсилосных задвижек для дальнейшей их реализации в алгоритмах управления АСОЗ ПТЛ перегрузки зерна на суда.

Abstract: S-engineering company, which is part of the holding company SE Group International, occupies a leading



position in the field of automation of technological processes in the grain processing industry, including innovative developments in its projects. In particular, the company is engaged in the development of innovative automated loading optimization system of the flow-transport lines (ALOS FTL) of grain terminals. The developed systems are designed to improve the performance of FTL, reduce the unit cost of electrical energy for overload, prevent accidents associated with grain blockages in the elevator shoes and overhang hopper of the scales due to FTL overload. These problems are solved by the system in the conditions of the formation of grain flow simultaneously from several sources. ALOS implements Leffol & Senumac (L&S) technology, patented by SE Group International. LEFFOL technology: method of controlling the degree of loading of the conveyor / Method of Loading Efficiency Control. SENUMAC technology: a way to automatically control of process shipping line upload of granular materials / S-engineering Useful Model Method of Automatic Control of Process Shipping line upload of granular materials.

The development of such systems includes several stages, one of which is the stage of studying the functioning of FTL, the study of their properties as control objects with a view to further reflect these properties in control algorithms. Particular attention is paid to the study of the silo gates, as their design, size, installation principle significantly affect the process of the outflow of grain.

The article deals with the experimental obtaining of mathematical models of the outflow of grain from the silo gates for their further implementation in the control algorithms of the ALOS FTL for loading grain onto ships.

Ключевые слова: перегрузка зерна, поточно-транспортные линии, производительность, энергозатраты, автоматизированная система оптимизации загрузки.

Keywords: grain reloading, flow-transport lines, productivity, energy consumption, automated loading optimization system.

Постановка задачи.

АСОЗ ПТЛ перегрузки зерна [1-3], внедренная на нескольких зерновых терминалах является инновационной разработкой компании S-engineering. Ее цель – формирование потока зерна одновременно из нескольких источников, повышение производительности ПТЛ, снижение энергозатрат на перегрузку, предотвращение аварийных ситуаций, связанных с завалами зерна в башмаках норий и надвесом бункера весов из-за перегрузки ПТЛ. АСОЗ реализует технологии Leffol & Senumac (L&S), запатентованные SE Group International [4–5].

Функции, реализуемые АСОЗ.

1. Автоматический расчет степени открытия задвижек по заданному соотношению расходов зерна из заданных силосов в его общий поток на отгрузку.
2. Автоматическая стабилизация производительности общего потока зерна (загрузки ПТЛ).
3. Автоматическое предотвращение аварийных остановов ПТЛ из-за развития завалов зерна в башмаках норий и надвесом бункера весов (при ограничении производительности весов установленным положением задвижки подвесового бункера).
4. Автоматический вывод производительности ПТЛ на максимально достижимую в текущих условиях величину.
5. Автоматическое быстрое (после команды оператора, вызванной необходимостью изменить режим загрузки судна) изменение производительности ПТЛ до одного из двух заданных сниженных уровней и возврат в режим ее оптимизации.

Для реализации эффективного управления в алгоритмах АСОЗ в форме математических моделей отражаются особенности процесса перегрузки зерна как объекта управления. В частности, реализуются математические модели процесса истечения зерна из подсилосных задвижек. Характер истечения зерна определяется его видом, механической конструкцией выпускного устройства, расположением задвижек с ручным и от двигателя перемещением шибера и рядом других факторов индивидуальных для каждого элеватора. В таких условиях наиболее конструктивным является комбинированный или сугубо экспериментальный методы получения математической модели процесса истечения зерна.

Методы и материалы исследований

Для получения математических моделей процесса истечения зерна из подсилосных задвижек на элеваторе «Новотех-терминал» (г.Одесса) были проведены ряд активных экспериментов по получению расходных характеристик задвижек. На рис.1 в качестве примера представлен вид окна с диаграммами изменения производительности ПТЛ отгрузки зерна в судно и степени открытия подсилосной задвижки при проведении активного эксперимента по снятию динамических характеристик и расходной характеристики подсилосной задвижки. А в таблице №1 сведены экспериментальные данные, полученные при определении расходной характеристики подсилосной задвижки силоса "СЗ-3" элеватора "Новотех-терминал" для зерна рапса.

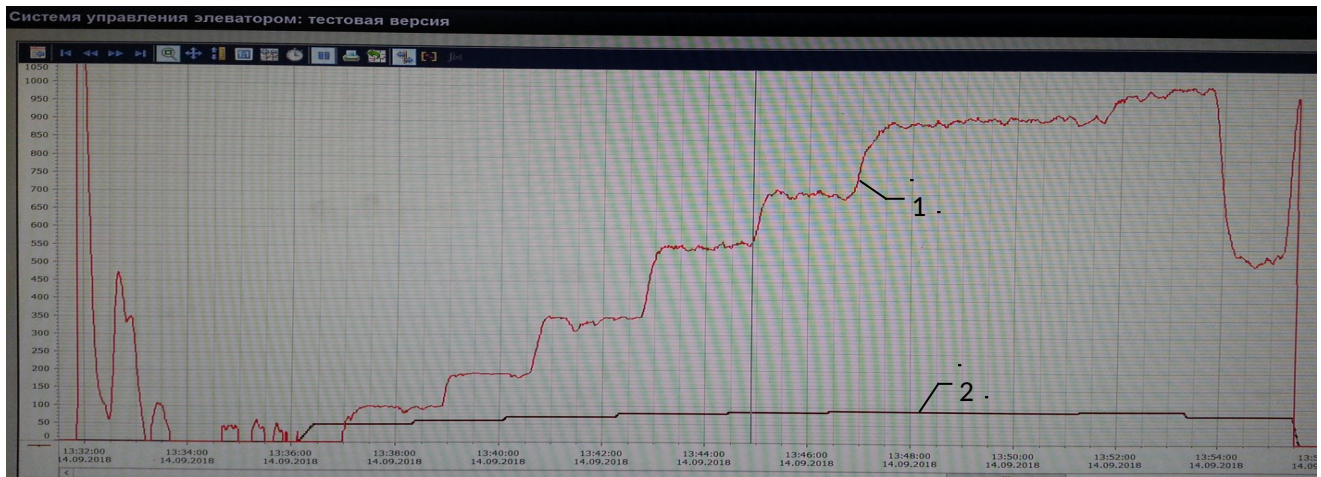


Рис. 1 – Вид окна с диаграммами изменения производительности 1 (т/ч) ПТЛ отгрузки зерна в судно и степени открытия подсилосной задвижки 2 (%) при проведении активного эксперимента по снятию расходной характеристики подсилосной задвижки

Таблица 1 – Экспериментальные данные, полученные при определении расходной характеристики подсилосной задвижки силоса "СЗ-3" элеватора "Новотех-терминал" для зерна рапса

№ эксперимента	Степень открытия подсилосной задвижки, %	Производительность ПТЛ (расчетная), т/ч	Производительность ПТЛ (показания бункерных весов), т/ч
1	50	100	108
2	60	185	175
3	70	345	344
4	80	550	584
5	85	705	716
6	90	910	950
7	92	1000	1050

Идентификация моделей выполнялась в программе «Curve Fitting Tool» системы MATLAB. При проведении идентификации моделей учитывалась физическая сущность процесса истечения зерна, необходимая точность модели и ее простота для дальнейшей реализации в алгоритмах АСОЗ ПТЛ. Поэтому в качестве структуры модели был выбран полиномом второго порядка. На рис.2 представлены Результаты идентификации модели расходной характеристики подсилосной задвижки в программе «Curve Fitting Tool». В структуре модели отсутствуют физически не обоснованные перегибы функции. График модели достаточно точно соответствует экспериментальным данным, что подтверждается полученными значениями числовых коэффициентов, определяющих точность соответствия модели экспериментальным данным.

Результаты исследований.

Полученная модель отражает значительную нелинейность расходной характеристики подсилосной задвижки. Учет этой нелинейности позволит правильно формировать расход зерна из каждой задвижки при формировании потока зерна из нескольких силосов одновременно. Дополнительно, полученная модель отражает значительное изменение коэффициента передачи в канале управления на разных производительностях. При изменении заданной производительности с 200т/ч до 950 т/ч коэффициент передачи будет меняться примерно в 5 раз. Такие значительные изменения свойств канала управления должны быть отражены в алгоритмах управления и обеспечить высокий запас устойчивости системы.

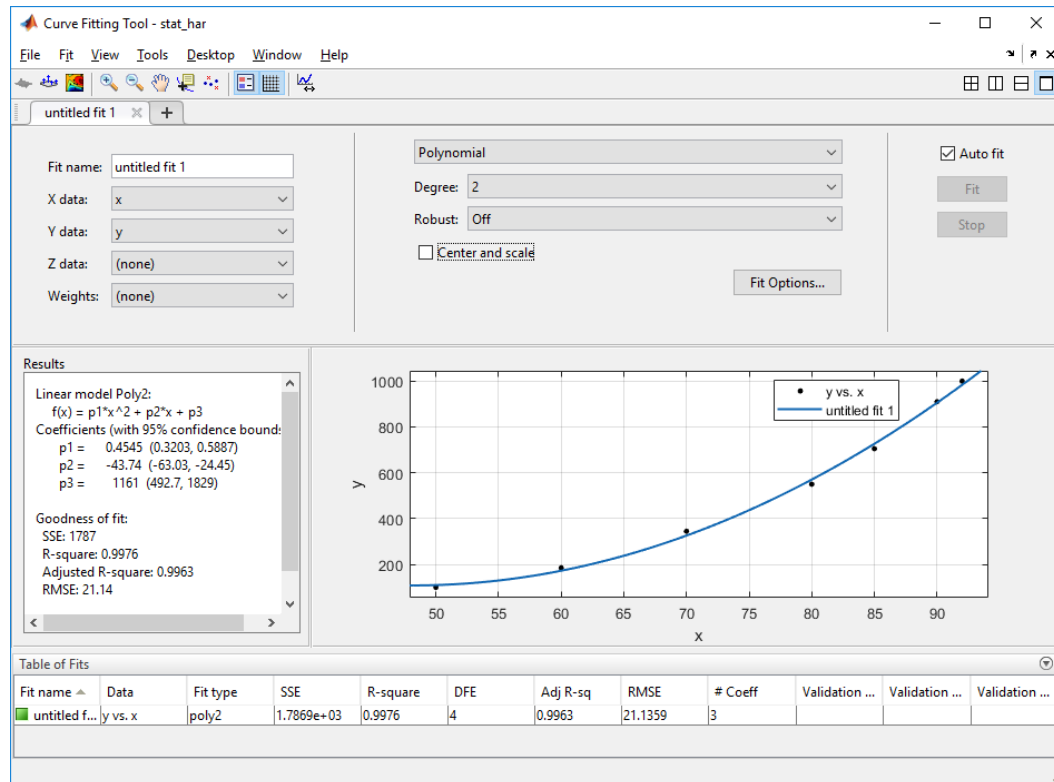


Рис. 2 – Результаты идентификации модели расходной характеристики подсилосной задвижки в программе «Curve Fitting Tool» системы MATLAB на основе экспериментальных данных, полученных при отгрузке рапса на судно из силоса "СЗ-3" элеватора "Новотех-терминал"

Выводы.

В результате проведенных исследований получена модель истечения зерна рапса из подсилосных задвижек элеватора "Новотех-терминал" (г. Одесса). Модель может быть отмасштабирована и применяться к другим видам зерна. Учет свойств модели в алгоритмах управления АСОЗ ПТЛ отгрузки зерна позволит обеспечить быстрый вывод ПТЛ на заданную производительность, высокую точность процентного ввода зерна при его отгрузке из нескольких силосов одновременно, стабильную и устойчивую работу системы в различных режимах.

Список использованных источников

- [1] Хобин В. А. Концепция эффективного управления производительностью поточно-транспортных линий при перегрузке зерна / В. А. Хобин, С. В. Шестопапов // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2011. – № 10 (148). – С. 26–29;
- [2] Шестопапов С. В. Оптимизация производительности процесса перегрузки зерна в условиях ограничения типа «аварийная ситуация» / С. В. Шестопапов, В. А. Хобин // XVIII Міжнарод. конф. з автомат. управління «Автоматика – 2011». – Львів, 2011. – С. 194–195;
- [3] Кирьязов И. Н. Автоматизированная система оптимизации загрузки поточно-транспортных линий перегрузки зерна: итоги производственных испытаний / И. Н. Кирьязов, С. В. Шестопапов // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2013. – № 7 (172). – С. 43–46.
- [4] Пат. на винахід 99525 Україна, МПК (2011.01), В65G 17/00, G01R 29/00. Спосіб контролю ступеня завантаження конвеєра / Аннаев Б. С., Герасимов В. В., Хобин В. А., Кирьязов И.Н., Шестопапов С. В. и др.; власник ТОВ «С-Інжинірінг». – № а201014455; заявл. 03.12.10; опубл. 25.05.12, Бюл. № 10. – 14 с.
- [5] Пат. на винахід 95887 Україна, МПК (2011.01), В65G 17/00, В65G 47/46 (2006.01), В65G 65/42 (2006.01), G01G 11/12 (2006.01). Спосіб автоматичного управління завантаженням потоково-транспортної лінії сипких матеріалів / Аннаев Б. С., Герасимов В. В., Хобин В. А., Кір'язов І. М., Шестопапов С. В. і ін.; власник ТОВ «С-Інжинірінг». – № а201015861; заявл. 29.12.10; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17. – 24 с;

References

- [1] V. A. Khobin et al. "Kontseptsiya effektivnogo upravleniya proizvoditelnostyu potочно-transportnyh liniy pri peregruzke zerna", *Hranenie i pererabotka zerna*, vol. 10, pp. 26–29, 2011.



- [2] S. V. Shestopalov et al. "Optimizatsiya proizvoditelnosti protsessa peregruzki zerna v usloviyah ogranicheniya tipa «avariynaya situatsiya», XVIII Mizhnarod. konf. z avtomat. upravlinnya «Avtomatika–2011», Lviv, UA, 2011. pp. 194–195.
- [3] I. N. Kiryazov et al. "Avtomatizirovannaya sistema optimizatsii zagruzki potочно-transportnyh liniy peregruzki zerna: itogi proizvodstvennyh ispytaniy", *Hranenie i pererabotka zerna*. vol. 7, pp. 43–46, 2013.
- [4] B. S. Annaev et al. "Sposib kontrolyu zavantazhennya konveera", UA Patent 99525, May, 25, 2012.
- [5] B. S. Annaev et al. "Sposib avtomatichnogo upravlinnya zavantazhennyam potokovo-transportnoyi liniyi sipkih materialiv", UA Patent 95887, September, 12, 2011.

УДК 629.5.064.5.(045)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ

Шевченко В.А.

Национальный университет «Одесская морская академия», Одесса, Украина

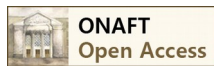
ORCID: 0000-0003-3229-1909

E-mail: yash4891@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v10i4.1233

Аннотация: Процесс управления синхронизацией генераторов является одним из наиболее сложных процессов в судовых электроэнергетических установках. Разработке методов абстрактного и структурного синтеза устройств автоматической синхронизации с применением последних достижений электронной промышленности, а также синтезу алгоритмического обеспечения для программируемых систем уделяется недостаточно внимания. В работе предложено математическое и алгоритмическое описание процесса автоматической синхронизации дизель-генераторов в судовой электроэнергетической установке. Выделены три вида критериев оптимальности управления процессом синхронизации при детерминированной и стохастической постановке задачи. Определены риски отклонения фактической траектории синхронизируемого объекта от ожидаемой. Получена обобщенная структура управления процессом синхронизации и алгоритм функционирования системы управления этим процессом. Определена структурная схема канала подгонки частоты синхронизируемого дизель-генератора, а также описаны передаточные функции каждого ее звена. Определены математические выражения времени ожидания наступления момента синхронизма, а также параметров, определяющих задержку времени срабатывания генераторного автомата. Получена диаграмма, иллюстрирующая способ определения параметров синхронизации. Наглядное описание процесса при помощи алгоритмов, диаграмм и математических выражений позволит без труда реализовать предложенный способ в современных системах автоматического управления судовыми электроэнергетическими установками.

Abstract: Generators synchronization control process is one of the most complicate processes of the ship's electrical power plant. Automatic synchronization control devices development abstract and structure synthesis methods, programmable synchronization systems algorithms receives little attention. Diesel-generator automatic synchronization process mathematical and algorithmic description is proposed in the paper. It is selected three optimization criterions on synchronization process control in deterministic and stochastic task formulation. Synchronization object actual trajectory deviation from expected trajectory risks were defined. Synchronizing diesel-generator speed control structure diagram and its all transfer functions were defined. Synchronism moment expectation time and generator's circuit breaker closing time delay mathematical expressions were defined. Synchronization parameters defining diagram is presented in paper. Synchronization



process easy algorithmic description, diagrams and mathematical expressions will allow to realize proposed method in modern electrical power plants control systems without any difficulties.

Ключевые слова: Синхронизация генераторов, дуальное управление, адаптивная система, подгонка частоты, алгоритмы управления.

Keywords: Generators synchronization, dual control, adoptive system, speed control, control algorithms.

Введение

Синхронизация генераторных агрегатов (ГА) относится к наиболее сложным и весьма ответственным процессам управления в электроэнергетике судов. Поэтому исследованию свойств этого процесса и совершенствованию технических средств автоматизации уделяется особое внимание.

Наряду с этим неоправданно мало внимания уделяется разработке методов абстрактного и структурного синтеза устройств автоматической синхронизации с применением последних достижений электронной промышленности, а также синтезу алгоритмического обеспечения для программируемых систем. В лучшем случае авторы [1,2] приводят описание принципа действия узлов некоторых типовых синхронизаторов или алгоритмы управления в самом общем виде.

В связи с этим встает задача анализа существующих способов автоматизации процесса синхронизации для установления математических моделей основных преобразователей и исследования их с позиции реализации в микропроцессорных системах. При этом необходимо стремиться к максимальному использованию положительных свойств жесткой (аппаратурной) и программируемой логики с позиций таких критериев как надежность, точность, быстродействие, диагностируемость.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

К настоящему времени опубликовано ряд фундаментальных работ [3-5], охватывающих математические методы исследования и проектирования электроэнергетических систем со статической динамикой и переменной структурной схемой.

Ряд работ [6-8] посвящено разработке и оптимизации режимов работы СЭЭС, где отмечена необходимость исследований в части совершенствования не только главной управляющей системы верхнего уровня, но и локальных подсистем управления вало- и дизель-генераторами.

Совершенствование алгоритмического обеспечения в комбинации с использованием современной цифровой техники в судовой электроэнергетике дает большие возможности в развитии автоматизации процессов управления, контроля и защиты особенно на судах с комбинированными и гибридными электрическими пропульсивными комплексами [9-11], а также на судах с системами динамического позиционирования [12,13], где электроэнергетическая система зачастую неразрывно связана с электрическим пропульсивным комплексом. Больших преимуществ в плане повышения технико-экономических показателей СЭС можно добиться управлением соотношения собственных параметров ДГ [14], решая задачи, связанные с обеспечением минимума расхода топлива и износа отдельных деталей, снижением интенсивности нагарообразования и др. Целесообразной также является оптимизация работы АСУ СЭЭС в части повышения быстродействия измерения и диагностики электрических параметров [15] с целью своевременной ее адаптации и реконфигурации.

Цель и задачи исследования

Целью работы является поиск метода оптимального управления процессом синхронизации дизель-генераторов при детерминированной постановке задачи в судовых электроэнергетических установках.

Методы и материалы исследования

Задачу оптимизации свяжем с определением такого закона управления, который удовлетворял бы некоторому условию экстремума, являющемуся показателем качества (или показателем достижимости поставленной цели), и учитывал бы требования по ограничению управляющих воздействий, качеству электроэнергии, а также возможные изменения (в процессе эксплуатации) технических характеристик синхронизируемых объектов. Последнее требование вызывает необходимость рассмотрения разрабатываемой системы в классе адаптивных (самонастраивающихся) систем управления.

Поскольку процесс синхронизации является сложной и многокритериальной задачей, то ее решение целесообразно расчленить на составные этапы, каждый из которых необходимо рассматривать независимо как решение отдельной части задачи. Для оценки частной задачи может быть выбран один критерий, если задача простая и малая по объему, и группа критериев, если задача комплексная. При этом один из группы критериев выбирается в качестве основного, а остальные являются дополнительными и в условиях их взаимного антагонизма могут иметь приоритетную основу. При решении частных задач может быть произведена смена основного и дополнительного критериев или изменение приоритета и степени важности дополнительных критериев в зависимости от требований к быстродействию, реальной обстановки, вида предписанного управления и других факторов, влияющих на протекание процесса синхронизации.



Определенные автором в [16] задачи синхронизации можно условно разделить на задачи быстрогодействия, т.е. задачи выполнения управления в кратчайший срок, задачи управления в предписанное (заданное) время и задачи управления в предписанных условиях. Таким образом, исходя из смыслового содержания задач управления, запишем три вида критериев оптимальности: для задач быстрогодействия

$$K = \min_u T, \quad (1)$$

где T – время управления; u – управление синхронизируемым объектом; для задач управления в заданное время

$$K = \min(T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}), \quad (2)$$

где $T_{\text{зад}}$ – заданное (предписанное) время требуемого управления, $T_{\text{факт}}$ – фактическое время, затраченное на выполнение управления;

и для задач управления в заданных условиях

$$K = \min|\Delta\Pi_{\text{доп}} - \Delta\Pi_{\text{факт}}|, \quad (3)$$

где $\Delta\Pi$ – допустимая величина отклонения параметра Π_i от $\Pi_{\text{доп}}$; $\Delta\Pi_{\text{факт}}$ – фактическое отклонение Π_i от $\Pi_{\text{доп}}$.

В соответствии с рассматриваемыми постановками задач управления синхронизируемыми объектами – детерминированной и стохастической – введем критерии оптимальности.

Наиболее востребованной является задача управления в детерминированной постановке, базирующаяся на том, что управление синхронизируемыми объектами, а значит и траектории их движения в пространстве задаются известными функциями времени. Частный случай такой постановки допускает, что кривые напряжения сети U_{os} , как объекта синхронизма, и генератора U_{sy} , как синхронизируемого объекта, представляют собой синусоидальные функции времени соответственно.

Критерии оптимальности задач синхронизации в детерминированной постановке полностью описываются зависимостями (1-3).

Поскольку в решении задач точной синхронизации определяющими являются условия (3), то для оценки эффективности управления данным процессом положим в основу определения $\Delta\Pi_{\text{доп}}$ и $\Delta\Pi_{\text{факт}}$ тройки параметров $D=(\Delta U_{\text{доп}}, \omega_{\text{доп}}, \alpha_{\text{доп}})$ и $\Phi=(\Delta U, \omega_s, \alpha)$, соответственно. В целом, учитывая, что превышение любого из параметров тройки Φ соответствующего допуска из D приводит к возникновению существенного уравнивающего тока в процессе синхронизации, поставим разность $(\Delta\Pi_{\text{доп}} - \Delta\Pi_{\text{факт}})$ в соответствие функционалу

$$i_{\text{ур}} = \frac{\sqrt{2} K E'_d E''_d}{x''_{d1} + x''_{d2} + x_c} \sin \frac{\alpha_0}{2},$$

где K – коэффициент, учитывающий апериодическую составляющую тока; x''_{d1} и x''_{d2} – сверхпереходные индуктивные сопротивления по продольной оси синхронизируемых генераторов; x_c – эквивалентное индуктивное сопротивление элементов сети, соединяющих синхронизируемые генераторы; α_0 – начальный угол сдвига фаз между продольными ЭДС синхронизируемых генераторов, т.е. между E''_{d1} и E''_{d2} .

Таким образом, основной критерий оценки эффективности управления процессом синхронизации будет иметь вид:

$$K = \min_u i_{\text{ур}}$$

Применив полученные ранее выражения к каждому из двух типов задач оценки эффективности, получим две группы критериев оптимальности:

для первого типа задач

$$K = \min_u (P(t)) \quad \text{– по быстродействию};$$

$$K = \min_u (P(T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}})) \quad \text{– по выполнению в заданное время};$$

$$K = \min_u (P(\Pi_{\text{зад}} - \Pi_{\text{факт}})) \quad \text{– по выполнению с заданной точностью};$$

и для второго типа задач;

$$K = \min_u (M(T)) \quad \text{– по быстродействию};$$

$$K = \min_u (M(T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}})) \quad \text{– по выполнению в заданное время};$$

$$K = \min_u (M(\Delta\Pi_{\text{доп}} - \Delta\Pi_{\text{факт}})) \quad \text{– по выполнению с заданной точностью}.$$

Первую группу критериев будем применять для оценки качества функционирования системы при стохастическом подходе к определению момента оптимума синхронизации.

Вторую группу критериев будем использовать для оценки системы при управлении процессом уравнивания частот синхронизируемых объектов и определении момента подачи опережающего импульса на включение генераторного автомата. Если при этом поставить требование, в соответствии с которым СУ при формировании управляющих воздействий должна учитывать изменение технических характеристик объектов управления в процессе эксплуатации, то данные задачи следует решать на базе теории дуального управления [16].



Синтез алгоритма оптимального управления в теории дуального управления для частного случая, под который попадают две последние задачи, сведем к следующему. Предположим, что известна математическая модель (либо существуют экспериментальные данные) описывающая с дискретностью τ изменение величины $X(i,j) \in X(N_{x1} - N_m)$ в процессе перевода – P_x синхронизируемого объекта из одного – начального в другое – заданное конечное состояние, т.е.

$$\cup_X (X_H, \theta, Z, P_X, \tau) \rightarrow X_3 \quad (4)$$

где, \cup_X – результатная функция перевода по величине $X_H(\tau)$; $X(\tau)$ – управляемая величина; $X_H(\tau)$ – ее значение в момент появления управляющего воздействия; $\theta(\tau)$ и $Z(\tau)$ – изменения технико-эксплуатационных показателей синхронизируемого объекта в процессе эксплуатации.

При этом, в процессе реализации любого из переводов типа $X_H - P_x \rightarrow X_3$ в любой, k -й момент времени управляющей системе известны предписанное – $X_k(\tau)$ и фактическое – $X_k^\Phi(\tau)$ значения управляемой величины. Дополнительная информация о величине $Z(\tau)$ содержится в векторе наблюдений $V_{k-1}=(V_{k-1}, V_{k-2}, \dots, V_H)$ величины $X(\tau)$ в предшествующие моменты времени в векторе управлений $\theta_{k-1}=(\theta_{k-1}, \theta_{k-2}, \dots, \theta_H)$, которые регистрируются в памяти МП СУ и представляют собой наблюдаемую предысторию управляемого процесса. Здесь $V_i = X_i + h_i, i \in \bar{0}, k-1$, где h_i – случайная погрешность измерения величины X_i с известной плотностью распределения вероятностей $P(h_i)$.

Если наблюдения за реализуемым переводом показывают, что существует отклонение фактического $X_k^\Phi(\tau)$ значения управляемой величины от предписанного – $X_k^\Pi(\tau)$, то потери, вносимые системой, можно оценить удельной функцией потерь

$$W_k(\tau) = W(X_k^\Phi, X_k^\Pi, \tau)$$

Вполне очевидно, что за конечное время функционирования МП СУ в процессе перевода – n обобщенная функция потерь будет иметь вид:

$$W = \sum_{k=0}^n W(X_k^\Phi, X_k^\Pi, \tau)$$

Таким образом, систему будем считать оптимальной, для которой полный риск R – математическое ожидание функции потерь – минимален, т.е.

$$M\{W\} = \sum_{k=0}^n M\{W_k\} = \sum_{k=0}^n R_k \rightarrow \min R \quad (5)$$

Здесь R_k – удельный риск, который определяют как

$$R_k = \int_{\psi(V_{k-1}, \theta_{k-1})} r_k P(V_{k-1}, \theta_{k-1}) d\psi \quad (6)$$

Функционал r_k в (6), называемый условным удельным риском, представляет собой математическое ожидание удельных потерь W_k при фиксированных значениях векторов V_{k-1} и θ_{k-1} . Он определяется в виде:

$$Z_k = \int_{\psi(Z, \theta_k)} W(X_k^\Phi(\theta_k, Z) X_k^\Pi) P(Z/V_{k-1}, \theta_{k-1}) \Gamma_k d\psi, \quad (7)$$

где $\Gamma_k = P(\theta_k/V_{k-1}, \theta_{k-1})$ – условная плотность распределения θ_k , называемая удельной стратегией управления.

В (6) и (7) символом ψ обозначена область интегрирования. Выражение $P(Z/V_{k-1}, \theta_{k-1})$ представляет собой апостериорную плотность распределения неизвестного параметра Z и при заданных априорных плотностях $P_0(Z)$ и $P(h_i)$ находится по формуле Байеса:

$$P(Z/V_{k-1}, \theta_{k-1}) = \frac{P_0(Z) \prod_{i=0}^{k-1} P(V_i/Z, \theta_i) \prod_{i=0}^{k-1} \Gamma_i}{P(V_{k-1}, \theta_{k-1})}. \quad (8)$$

Условная плотность распределения $P(V_i/Z, \theta_i)$ определяется с учетом (4) по известной плотности распределения $P(h_i)$. Последовательность функций при $\delta = \{\Gamma_0, \Gamma_1, \dots, \Gamma_n\}$ принято называть стратегией управления. Зависимость риска R от стратегии δ обозначим R^δ и будем считать оптимальной, если она минимизирует риск R .

Эта стратегия ищется в классе допустимых стратегий Δ . Из (6-8) следует, что каждое слагаемое R_k в (5) зависит от выбора последовательности $\{\Gamma_0, \Gamma_1, \dots, \Gamma_n\}$. При этом выбор удельной стратегии Γ_k влияет не только на R_k в k -ый момент времени, но и на значения всех будущих удельных рисков R_{k+1}, \dots, R_n . Это влияние проявляется, как следует из (8), через апостериорную плотность распределения неизвестного параметра и составляет сущность дуальности



управления: выбор управления определяет не только поведение величины X , но и темп накопления информации об изменении Z .

Результаты исследования

В связи с вышеизложенным, оптимальная стратегия управления процессом синхронизации, в частности уравнивания частот синхронизируемых объектов и определения момента подачи опережающего импульса на включение генераторного автомата, будет связана с разработкой эффективных способов измерения технических показателей объектов управления и определения их изменений в процессе эксплуатации.

Если теперь, полученные выше результаты, а также полученные автором в работе [16] обобщить и формализовать с учетом выбранной стратегии управления, то структура оптимального управления процессом синхронизации будет иметь вид, рис. 1.

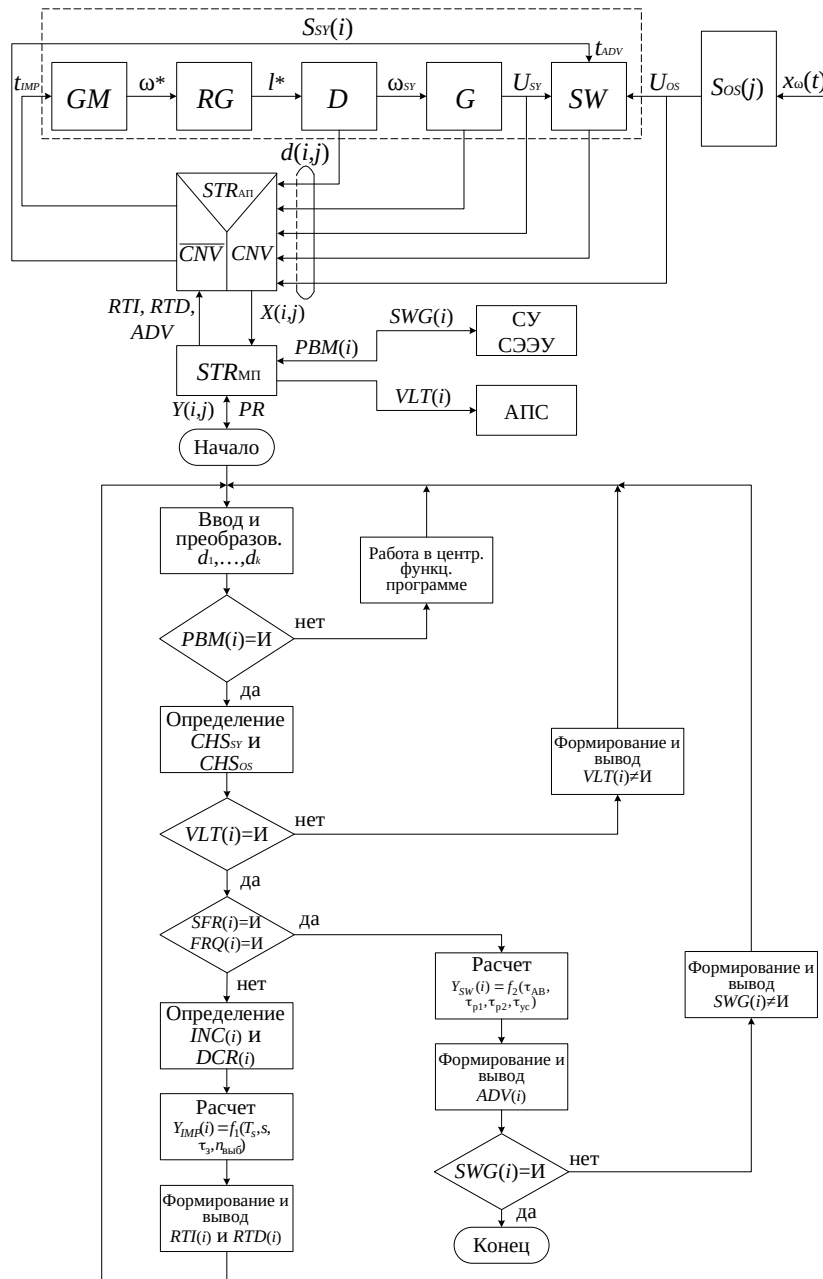


Рис. 1 – Обобщенная структура управления процессом синхронизации

Выделим в структуре, рис. 1, канал управления подгонкой частоты и представим его эквивалентной схемой цифровой автоматической системы управления с сигналом $\omega_{СУ}$ (рис. 2), в которой МП система выполняет роль дискретного автоматического управляющего устройства, работающего циклически, с интервалом обновления информации $\tau = T_{Ц}$.



Детерминированная постановка задачи позволяет рассматривать управляющее устройство, как элемент непрерывного действия, закон функционирования которого можно описать математически. В общем случае это будет зависимость вида

$$t_{IMP} = \frac{\omega^*}{W_{CR}(p)},$$

где $W_{CR}(p)$ – передаточная функция цепи подгонки.

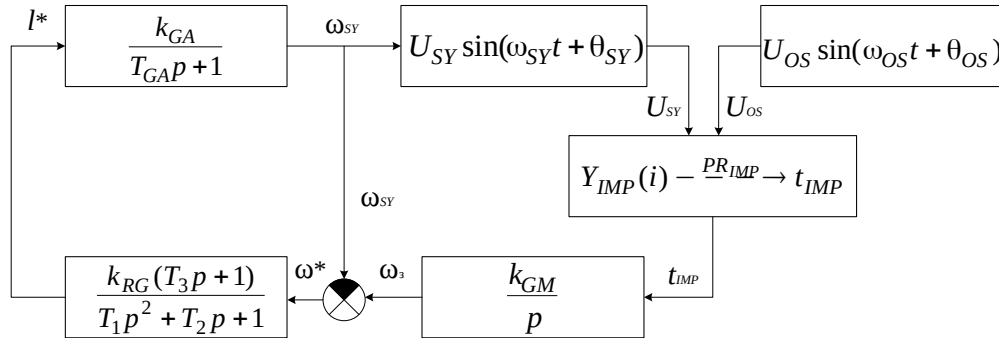


Рис. 2 – Структурная схема канала подгонки частоты

Как видно из структуры рис. 2,

$$W_{CR}(p) = W_{GM}(p) \cdot W_{RG}(p) \cdot W_{GA}(p) = \frac{k_{GM}}{p} \cdot \frac{k_{RG}(T_3 p + 1)}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} \cdot \frac{k_{GA}}{T_{GA} p + 1};$$

$$W_{CR}(p) = \frac{k_{GM} k_{RG} k_{GA} (T_3 p + 1)}{T_1 T_{GA} p^4 + (T_2 T_{GA} + T_1) p^3 + (T_2 + T_{GA}) p^2 + p}.$$

Таким образом, выражение

$$\omega^* = \left[\frac{k_{GM} \cdot k_{RG} \cdot k_{GA} (T_3 p + 1)}{T_1 T_{GA} p^4 + (T_2 T_{GA} + T_1) p^3 + (T_2 + T_{GA}) p^2 + p} \right] t_{IMP}$$

будет описывать реальный переходной процесс, вызванный реализацией в цепи подгонки управляющего воздействия t_{IMP} , а обратная зависимость

$$t_{IMP} = \frac{\omega^*}{\left[\frac{k_{GM} \cdot k_{RG} \cdot k_{GA} (T_3 p + 1)}{T_1 T_{GA} p^4 + (T_2 T_{GA} + T_1) p^3 + (T_2 + T_{GA}) p^2 + p} \right]}$$

может быть положена в основу искомого управления.

Такой подход к расчету t_{IMP} позволяет учитывать все возможные в процессе эксплуатации ЭЭУ изменения величин k_{GM} , k_{RG} , k_{GA} , T_{GA} , T_1 , T_2 , T_3 , характеризующих динамические свойства цепи: $GM \rightarrow RG \rightarrow GA$. Однако реализация в МП системах зависимости вида

$$t_{IMP} = F_1(\omega^*, T_{GA}, T_1, T_2, T_3, k_{RG}, k_{GM}, k_{GA})$$

крайне затруднена из-за сложности, а зачастую, и невозможности достоверного определения параметров T_{GA} , T_1 , T_2 , T_3 , k_{RG} , k_{GM} и k_{GA} в реальных ЭЭУ.

По этой причине полином $W_{CR}(p)$ заменим тройкой характеристик $B=(s, \tau_3, n_{выб})$, что позволяет описать искомый закон управления зависимостью вида

$$t_{IMP} = F_2(\omega_s, \tau_3, s, n_{выб}),$$

где s – темп изменения частоты вращения GA , τ_3 – запаздывание по каналу управления частотой вращения, $n_{выб}$ – выбег по частоте вращения при снятии управляющего воздействия t_{IMP} .



Определение оптимального момента включения генераторного автомата синхронизируемого объекта связано с решением совокупности задач, таких как: определение взаимного расположения в пространстве векторов одноименных фаз напряжений синхронизируемых объектов; расчет времени ожидания $t_{ож}$ оптимума синхронизации, т.е. момента геометрического совпадения названных векторов, формирование опережающего импульса на включение генераторного автомата синхронизируемого объекта.

В соответствии с детерминированной постановкой задачи взаимное расположение в пространстве векторов одноименных фаз напряжений синхронизируемых объектов может быть описано выражением

$$\vec{r}_{SY}^{(k)} = \vec{r}_{OS}^{(k)} + \Delta \vec{r}_S^{(k)},$$

где

$$\Delta \vec{r}_S^{(k)} = \vec{r}_S^{(k)} - \vec{r}_S^{(0)} = \left[t^{(k)} - t^{(0)} \right] \frac{d\omega_S^{(k)}}{dt} \approx \left| \Delta u_S^{(k)} \right| = U_{OS} U_{SY} \sin \frac{\omega_S}{2} \left[t^{(k)} - t^{(0)} \right]$$

– вектор, определяющий изменение величины напряжения огибающей биений за время $\left[t^{(k)} - t^{(0)} \right]$.

Поскольку вектор $\vec{r}_S^{(k)} = \vec{r}_{SY}^{(k)} \cdot \vec{r}_{OS}^{(k)} \cdot \sin \frac{\alpha^{(k)}}{2}$, а также, учитывая, что $\vec{r}_S^{(0)} = 0$ и случай, когда $\frac{d\omega_S}{dt} = 0$ (режим зависания), по условию задачи выпадает из рассмотрения, получим:

$$\vec{r}_{SY}^{(k)} \vec{r}_{OS}^{(k)} \cdot \sin \frac{\alpha^{(k)}}{2} \approx U_{SY} U_{OS} \sin \frac{\omega_S}{2} \left[t^{(k)} - t^{(0)} \right],$$

откуда

$$\alpha^{(k)} \approx \omega_S \left[t^{(k)} - t^{(0)} \right]$$

либо

10.15673/atbp.v10i4.1233

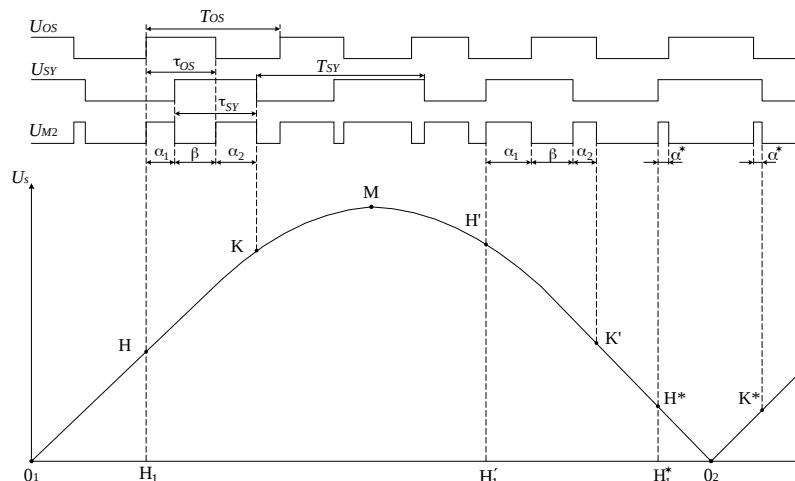
$$\left[t^{(k)} - t^{(0)} \right] \approx t_{ож} = \frac{\alpha^{(k)}}{\omega_S} \tag{9}$$

Таким образом, определена зависимость величины $t_{ож}$ от текущих значений ω_S и α , что позволяет приступить к разработке соответствующего математического обеспечения МП СУ СЭЭУ с учетом ее возможностей и принятых способов измерения.

Поскольку МП система относится к классу цифровых систем, то в основу способа измерения величин ω_S и α положим принцип счета количества временных интервалов за периоды синусоидальных напряжений U_{SY} , U_{OS} , за интервал времени, характеризующий разность фаз.

Условимся так же, что МП система содержит необходимые формирователи цифровых сигналов, отображающих последовательности периодов напряжений синхронизируемых объектов ($T_{SY} = \frac{1}{f_{SY}}$) и ($T_{OS} = \frac{1}{f_{OS}}$), рис. 3, а также логическое устройство сложения цифровых сигналов, позволяющее определить измерение угла α на временном интервале T_S , который полностью соответствует периоду огибающей биений

$$u_S = 2U_m \sin \frac{\omega_S}{2} t \text{ при } U_{SY} = U_{OS} = U_m$$



**Рис. 3 – Диаграмма, иллюстрирующая способ определения параметров синхронизации**

Основной трудностью, с которой приходится сталкиваться при разработке математического обеспечения микропроцессорных устройств управления синхронизацией ГА, является получение расчетного выражения для величины времени $t_{ож}$ от начала измерения (И) угла α до точки оптимума θ_2 . Связано это с тем, что в течение T_S значения углов α на симметричных участках O_1M и MO_2 попарно совпадают. Поэтому использование зависимости (9) для определения времени $t_{ож}$ будет справедливо только на участке MO_2 :

$$t_{ож} = \frac{\alpha}{\omega_S} = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot T_S.$$

Оценивая пути решения данной задачи, остановимся на идее измерения двух последовательных значений угла α с дальнейшей оценкой знака их разности. При этом можно установить следующее: если $\alpha_1 < \alpha_2$, то процесс измерения α проводится на участке O_1M , при $\alpha_1 > \alpha_2$ – на участке MO_2 .

Однако в случаях полного наложения временных интервалов τ_i и τ_j отмеченная закономерность может быть нарушена, что приведет к ошибке в определении знака.

Как видно из рис. 3, для данного случая значения α считаются минимальными (α^*) и всегда будут меньше $\Delta T = |T_{OS} - T_{SY}|$. Поэтому для исключения возможных ошибок измеряемые значения необходимо проверять по условию $\alpha > \Delta T$.

Таким образом, можно записать следующие выражения для определения искомого параметра $t_{ож}$:

$$t_{ож} = \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi}\right) T_S, \text{ если } \alpha_1 < \alpha_2$$

и

$$t_{ож} = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot T_S, \text{ если } \alpha_1 > \alpha_2$$

либо учитывая, что $T_S = \frac{T_{SY} T_{OS}}{|T_{SY} - T_{OS}|}$, $T_{OS} = 2\tau(j)$ и $T_{SY} = 2\tau_{SY}$,

получим в окончательном виде выражения, необходимые для решения поставленной задачи предложенным методом.

$$t_{ож} = \left(2 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \cdot \frac{\tau_{OS} \cdot \tau_{SY}}{\tau_{OS} - \tau_{SY}}, \text{ если } \alpha_1 < \alpha_2$$

$$t_{ож} = \frac{\alpha}{\pi} \cdot \frac{\tau_{OS} \cdot \tau_{SY}}{\tau_{OS} - \tau_{SY}}, \text{ если } \alpha_1 > \alpha_2$$

При таком подходе к определению $t_{ож}$ величину задержки времени τ_{ADV} на подачу опережающего импульса включения генераторного автомата можно рассчитать по формуле:

$$\tau_{ADV} = t_{ож} - t_{ср.ц}, \quad (10)$$

где $t_{ср.ц}$ – время срабатывания элементов канала включения генераторного автомата.

Как видно из выражения (10), точность подключения синхронизируемого объекта к объекту синхронизма зависит не только от точности измерения величин α и ω_S и расчета $t_{ож}$, но и от достоверности текущего значения величины $t_{ср.ц}$.

В [16] показано, что $t_{ср.ц} \cong Y_{SW}(i) = f_2(\tau_{AB}, \tau_{p1}, \tau_{p2}, \tau_{yc})$, где $\tau_{yc}, \tau_{p1}, \tau_{p2}$ и τ_{AB} – собственное время срабатывания основных элементов канала включения генераторного автомата, соответственно: управляющей системы (τ_{yc}), реле гальванической развязки (τ_{p1}), промежуточного реле (τ_{p2}) и автоматического выключателя генератора (τ_{AB}), поэтому для $t_{ср.ц}$ можно записать

$$t_{ср.ц}(i) = \tau_{AB}(i) + \tau_M(i) + \tau_{p2}(i) + \tau_{yc}(i).$$

В процессе эксплуатации судовой ЭЭУ, по мере выработки ресурса управляющей системы, аппаратуры сопряжения и автоматического выключателя, их временные показатели $\tau_{yc}, \tau_{p1}, \tau_{p2}, \tau_{AB}$ – изменяются, что приводит к существенным изменениям $t_{ср.ц}$ и, как следствие, к ошибкам в расчете $t_{ср.ц}$. Поскольку при этом большую достоверность имеют последние k – включений из n , предшествующие расчету величины $t_{ср.ц}(n+1)$, то для определения последней можно воспользоваться формулой



$$t_{\text{ср.ц}}(n+1) = \frac{\sum_{i=n-k}^n (\tau_{\text{AB}}(i) + \tau_{\text{p1}}(i) + \tau_{\text{p2}}(i) + \tau_{\text{yc}}(i))}{k}$$

Обсуждение результатов

Таким образом, получены математические выражения, лежащие в основе определения оптимального момента включения генераторного автомата синхронизируемого объекта в условиях детерминированной постановки задач управления процессом синхронизации.

Предложенный способ управления процессом синхронизации позволит его оптимизировать по ряду таких критериев, как: быстрдействие, выполнение в заданное время, выполнение с заданной точностью.

Наглядное описание процесса при помощи алгоритмов, диаграмм и математических выражений позволит без труда реализовать предложенный способ в современных системах автоматического управления судовыми электроэнергетическими установками.

Выводы

В работе предложено математическое и алгоритмическое описание процесса автоматической синхронизации дизель-генераторов в судовой электроэнергетической установке. Выделены три вида критериев оптимальности управления процессом синхронизации при детерминированной и стохастической постановке задачи. Определены риски отклонения фактической траектории синхронизируемого объекта от ожидаемой.

Получена обобщенная структура управления процессом синхронизации и алгоритм функционирования системы управления этим процессом. Определена структурная схема канала подгонки частоты синхронизируемого дизель-генератора, а также описаны передаточные функции каждого ее звена.

Определены математические выражения времени ожидания наступления момента синхронизма, а также параметров, определяющих задержку времени срабатывания генераторного автомата. Получена диаграмма, иллюстрирующая способ определения параметров синхронизации.

Список использованных источников

- [1] Emam, S.E.A., Automatic digital synchronization, International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering, ICEEC'04, (2004). p. 778-784.
- [2] Çolak, ø., Bayındır, R., Sefa, ø., Demirbaú, ù., Bal, G., Developing of a control unit for the parallel operation of AC generators, TPE'06 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, (2006). p. 134-137.
- [3] Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.
- [4] Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб., 2015, Вып. 36, с. 74-82.
- [5] Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 1, с. 296-301.
- [6] Clarke, N.J. (2004), Marine electrical power systems, 2nd Intern. Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2004 (PEMD 2004)
- [7] Fossen, T.I. (2002), Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway
- [8] Milosevic, M and G. Andersson (2005), Generation Control in Small Isolated Power Systems, North American Power Symposium (NAPS), Ames, USA, 2005
- [9] Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:[10.15587/1729-4061.2016.72543](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72543).
- [10] Budashko, V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex [Text] / V. V. Budashko / Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:[10.20998/2074-272X.2017.2.10](https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.2.10).
- [11] Budashko, V. V. Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes [Text] / O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov // Technology audit and production reserves. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63-73. Doi:[10.15587/2312-8372.2016.81407](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81407).



- [12] Будашко, В. В. Имплементарный подход при моделировании энергетических процессов динамически позиционирующего судна [Текст] / В. В. Будашко // Электротехника і Електромеханіка. 2015. №6. – С. 20–25. ISSN 2074–272X. Doi:[10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764](https://doi.org/10.20998/2074-272X.2015.6.02/50764).
- [13] Будашко В. В. Удосконалення системи управління підрулюючим пристроєм комбінованого пропульсивного комплексу / В. В. Будашко, О. А. Онищенко // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2014. – № 38 (1081). – С. 45-51.
- [14] Шевченко В.А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. № 4. С. 94–103.
- [15] Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2018. – №3(244). – С. 136 – 141.
- [16] Шевченко В.А. Решение задачи оптимального управления подгонкой частоты дизель-генераторов в судовых электроэнергетических установках // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2018. – №2(10). – С. 88-96.

References

- [1] Emam, S.E.A., Automatic digital synchronization, International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering, ICEEC'04, (2004). p. 778-784.
- [2] Çolak, ø., Bayındır, R., Sefa, ø., Demirbaú, ù., Bal, G., Developing of a control unit for the parallel operation of AC generators, TPE'06 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, (2006). p. 134-137.
- [3] Shevchenko, V.A. *Verifikatsiya funktsional'nykh algoritmov systemy upravleniya mnogoagregatnoy sudovoy elektricheskoy stantsiy* [Ship's multiunit electrical power plant control system algorithms verification] [Text. Ship's technical means automatization: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 21. Odesa: ONMA. – p. 70-76.
- [4] Zakharchenko, V.N. *Resheniye zadach upravleniya sudovoy elektroenergeticheskoy ustanovkoy pri izmenenii nagruzki* [Ship's electrical power plant control tasks solving when load changing] [Text] . V.N. Zakharchenko, V.A. Shevchenko . Ship's power plants: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 36. Odesa: ONMA. – p. 74-82.
- [5] Shevchenko, V.A. *Sposob verifikatsii funkcional'nykh algoritmov systemy upravleniya mnogoagregatnoy sudovoy jelektricheskoy stantsiej* [Text. Nauk. Vistnyk KDMA: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 1. – p. 296-301.
- [6] Clarke, N.J. (2004), Marine electrical power systems, 2nd Intern. Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2004 (PEMD 2004)
- [7] Fossen, T.I. (2002), Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway
- [8] Milosevic, M and G. Andersson (2005), Generation Control in Small Isolated Power Systems, North American Power Symposium (NAPS), Ames, USA, 2005
- [9] Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:[10.15587/1729-4061.2016.72543](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72543).
- [10] Budashko, V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex [Text] / V. V. Budashko / Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:[10.20998/2074-272X.2017.2.10](https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.2.10).
- [11] Budashko, V. V. Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes [Text] / O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov // Technology audit and production reserves. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63-73. Doi:[10.15587/2312-8372.2016.81407](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81407).
- [12] Budashko, V. V. *Implementarnyj podhod pri modelirovanii jenergeticheskikh processov dinamicheski pozicionirujushhego sudna*. Electrical engineering & electromechanics. – 2015. – №6. – P. 20 – 25. ISSN 2074–272X. Doi:[10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764](https://doi.org/10.20998/2074-272X.2015.6.02/50764).
- [13] Budashko, V. V. *Udoskonalennya sy`stemy` upravlinnya pidrulyuyuchy`m pry`stroyem kombinovanogo propul'sy`vnogo kompleksu*. V. Budashko, O. Onishchenko. Visnyk Nacz. techn. un-tu "XPI" : zb. nauk. pr. Temat. vy`p. : Elektry`chni mashy`ny` ta elektromexanichne peretvorennya energiyi. – Kharkiv : NTU "KPI". – 2014. – № 38 (1081). – P. 45-51.
- [14] Shevchenko, V.A. *Optimizacija upravlenija jelektrostantsiej iz uslovija minimuma rashoda topliva i s uchetom meteouslovij* [Visnyk Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu. Serija: Tehnichni nauky] – 2018. № 4. p. 94–103.
- [15] Shevchenko, V.A. *Algoritm bystroj ocenki parametrov sudovyh jelektrojenergeticheskikh sistem* [Visnyk shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja] – 2018. – №3(244). – p. 136 – 141.



- [16] Shevchenko, V.A. *Reshenie zadachi optimal'nogo upravlenija podgonkoj chastoty dizel'-generatorov v sudovyh jelectrojenergeticheskix ustanovkax* [Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovoi' akademii' (m. Odesa)] – 2018. – №2(10). – p. 88-96.



УДК 681.51

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Киркопуло Е.Г.

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ORCID: 0000-0001-5570-5989

E-mail: kateryna.grygoryvna@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1234](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1234)

Аннотация: Показана актуальность проблемы повышения качества работы ионно-плазменных установок. Одной из важных задач для таких установок является разработка эффективного компьютерного интерфейса их систем автоматизации. Приведены недостатки имеющихся интерфейсов. Указано, что имеющиеся интерфейсы ориентированы на логическое управление и не обеспечивают высокий уровень автоматизации процесса. Анализ технологического регламента работы установки «Булат» с разработанной для неё системой автоматического управления показал, что процесс обработки металлорежущего инструмента можно разделить на стадии со строго заданными требованиями к каждой из них. В результате анализа регламента и практики разработки эффективных компьютерных интерфейсов сформулированы требования к интерфейсам операторов ионно-плазменных установок, которые удовлетворяют требованиям ситуационной осведомленности и рекомендациям международного стандарта ANSI/ISA-101.01-2015. Приведены экраны разработанного интерфейса в различных технологических ситуациях для каждой стадии, которые иллюстрируют эффективность предлагаемого решения.

Abstract: The actuality of the problem of improving the quality of operation of ARC PVD ion-plasma installations is shown. One of the important task for such installations is the development of effective computer interface for the automation system. The drawbacks of the available interfaces are shown. It is indicated that the available interfaces are focused on logical control and do not provide a high level of process automation. The analysis of the technological regulations of the work of the "Bulat" unit with the automatic control system developed for it showed that it is possible to divide process on stages with strictly specified requirements. As a result of the analysis of the regulations and practices of developing effective computer interfaces, the requirements for interfaces of operators of ion-plasma installations are formed that meet the requirements of situational awareness and ANSI/ISA-101.01-2015 international standard recommendations. Screens of the developed interface are given in various technological situations for every stage that illustrate the effectiveness of the proposed solution.

Ключевые слова: Человеко-машинный интерфейс, компьютерная система автоматизации, ионно-плазменная установка.

Key words: Human-machine interface, computer automation system, ARC PVD ion-plasma installation.

Введение. Установки ионно-плазменного напыления предназначены для повышения износостойкости и качества работы металлорежущего инструмента. Одной из наиболее совершенных технологий ионно-плазменного напыления является нанотехнология метода КИБ (катодно-ионная бомбардировка), разработанная в Украине. Такая технология используется в серийных установках – «Булат» (Украина), ННВ-6.6 (Российская Федерация), ВУ-2МБС (Беларусь), MR-333 и MR-383 (США) и другие.

С момента изобретения сама технология напыления не устарела, однако существенной модернизации требуют существующие системы автоматизированного управления технологическим процессом установки. Повышение качества работы установки ведется в трех направлениях: синтез более совершенных цифровых систем автоматического управления установкой, разработка более качественной и надежной программно-технической структуры системы автоматизации, улучшение эргономических показателей компьютерного интерфейса [1].



Синтез усовершенствованной поэтапной системы автоматического управления установкой проведен нами в работе [2]. Показано, что использование разработанной системы управления позволяет существенно повысить стойкость инструмента в сравнении с используемыми в настоящее время установками. Так, например, при ионной очистке удалось достичь отклонение температуры от программного значения на 5 К вместо регламентных 25 К, что способствует улучшению качества обработанного инструмента, показатель дефектности которого становится равным одному баллу.

Целью настоящей работы является разработка усовершенствованного интерфейса взаимодействия с оператором. Интерфейс должен соответствовать требованиям международного стандарта ANSI/ISA-101.01-2015 и поддерживать высокий уровень автоматизации, заложенный в разработанную систему управления установкой. Разработанные ранее интерфейсы [3-10] не соответствуют предъявленным требованиям. Это объясняется тем, что задача разработки интерфейса рассматривалась отдельно от задачи разработки системы автоматического управления. Если автоматизированное управление в таких интерфейсах и реализуется, то, как правило, только с помощью алгоритмов реализации последовательного выполнения операций по заданным условиям. Из доступных источников, наиболее совершенный компьютерный интерфейс установкой ионно-плазменного напыления представлен в работе [3]. Преимуществом разработанного интерфейса является ориентация на сенсорный экран, возможность задавать рецепты, реализованная система отчетов. В то же время интерфейс реализуется не в соответствии с современными требованиями компьютерной эргономики, видеокادر экранной формы не отображает динамику процесса, а показанная система рецептов соответствует чисто логическому управлению процессом. Таким образом, задача разработки эффективного интерфейса для ионно-плазменных установок остается актуальной и в настоящее время полностью не решенной.

Основные этапы работы ионно-плазменной установки. Установка «Булат» предполагает три этапа работы: ионная очистка, нанесение покрытия и охлаждение. На каждом из указанных этапов необходима работа соответствующей системы автоматического управления. Схематически процесс может быть представлен следующим образом [1] – см. рис. 1.

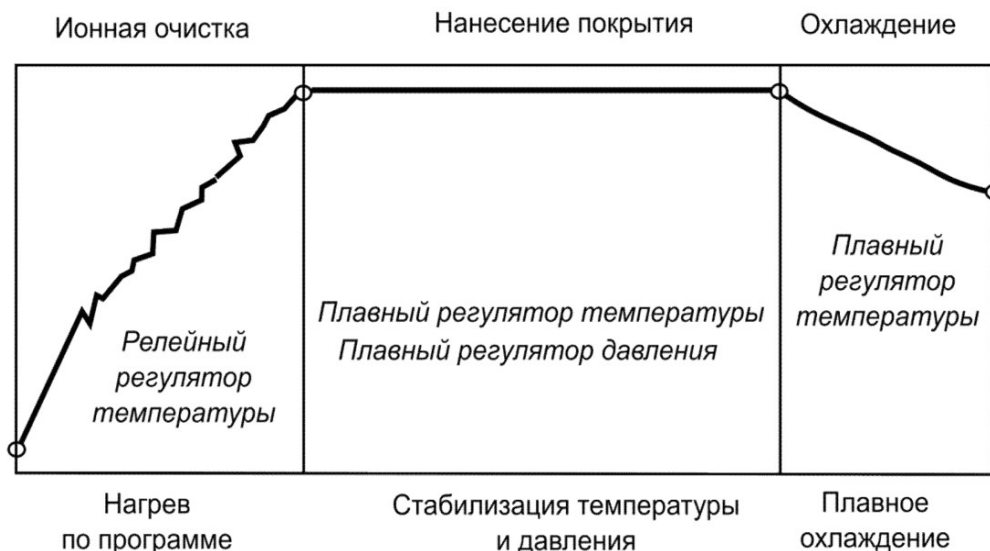


Рис. 1 – Этапы работы установки «Булат» и требуемые системы регулирования, для обеспечения качества их реализации

Разработка систем автоматического управления для каждого из этапов проведена в работе [2]. Экспериментально определен технологический регламент, для каждого этапа обработки стального инструмента – резца 12X18H10T, представлен в таблице 1.

Как видим, представленный технологический регламент позволяет характеризовать технологический процесс как строго поэтапный с жесткими временными регламентами, нарушение которого может происходить по следующим трем причинам: недостоверный регламент, некорректные настройки регуляторов, отказ оборудования. Эффективный компьютерный интерфейс должен помогать легко идентифицировать нарушение и позволять точно локализовать источник ошибки.

Формулирование требований к интерфейсу. Обзор современных стандартов в области эргономики компьютерных интерфейсов представлен в работе [11]. В работе проведена разработка интерфейса с использованием



рекомендаций стандарта ANSI/ISA-101.01-2015 и концепции ситуационной осведомленности по модели Эндсли, который позволяет избежать распространенных ошибок проектирования ЧМИ промышленных технологических процессов. Обзор основных ошибок проектирования, которые устоялись в практике промышленной автоматизации, приведен в работе [12]. Из обзора выделим те проблемы, которые касаются распространенных компьютерных интерфейсов ионно-плазменных установок:

- на основном экране размещается мнемосхема с множеством цифровых параметров, что не позволяет оценить динамику и спрогнозировать течение процесса (поскольку тренды отображаются на другом экране, или не отображаются вовсе),

- используется множество отвлекающих факторов – избыточное цветовое оформление, 3D-тени, анимация,
- организация экранов ориентирована на представление информации разных типов и не является следствием анализа типовых действий оператора и задач, которые он должен постоянно решать,

- элементная база и цифровой алфавит интерфейсов недостаточно обоснованы, что не позволяет эффективно направлять внимание оператора.

Таблица 1 – Технологический регламент обработки резца 12X18H10T

Этап	Операция	Требования	Техническое обеспечение
Ионная очистка	1. Загрузка материала	Производится вручную	Показание установленного в камеру тензодатчика не должно позволять продолжить процесс без материала.
	2. Достижение вакуума в камере	Достижение давления 0.3 Па	Включить вакуум насос до достижения давления, затем отключить
	3. Включение механизма вращения	Достижение 8 об/мин	Механизм вращения деталей, датчик скорости вращения
	4. Плавное повышение температуры	Расчет линейной программы повышения температуры. Повышение температуры по программе за заданный интервал времени в 1800 с при максимально допустимом отклонении в 25 °С до достижения температуры в 527 °С.	Система подачи напряжения, пирометр, программно реализованный релейный регулятор температуры.
	5. Завершение этапа	Отключение регулятора и системы подачи напряжения	Система подачи напряжения, программно реализованный релейный регулятор
Нанесение ионно-плазменного покрытия	1. Включение подачи азота	Открытие вентиля подачи азота на уровне 2.3 мг/сек	Исполнительный механизм подачи азота
	2. Включение дуги	Включение системы подачи напряжения на дугу с начальным напряжением 362 В.	Блок регулятора напряжения дуги
	3. Стабилизация давления и температуры в камере	Обеспечение стабильной температуры и давления в течение 1000 сек с помощью включения соответствующих ПИ-регуляторов	Манометр, исполнительный механизм подачи азота, пирометр, блок регулятора напряжения дуги, программно реализованные ПИ-регуляторы
	4. Завершение этапа	Отключение регуляторов и системы подачи напряжения на дугу	Блок регулятора напряжения дуги, программно реализованные ПИ-регуляторы
Охлаждение	1. Плавное охлаждение	Включение регулятора и охлаждение до 227 °С в течение 1800 сек при обеспечении скорости изменения температуры не более 0.3 °С/сек	Пирометр, механизм подачи азота, программно реализованный ПИ-регулятор
	2. Отключение	Отключение регулятора и	Программно реализованный ПИ-регулятор,



	регулятора охлаждения и системы подачи азота	закрытие вентиля подачи азота	механизм подачи азота
	3. Завершение этапа	Достижение атмосферного давления в камере и отключение установки.	Манометр, выключатель напряжения.

Сведем рациональные требования и способы их реализации в таблицу 2.

Таблица 2 – Основные требования к разработке интерфейса и способы их реализации

Требование	Способ реализации
Использование визуального представления экранов в соответствии с рекомендациями стандарта ANSI/ISA 5.1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Используется светло-серый фон 2. Используется упрощенная мнемосхема установки с использованием темно-серых линий 3. Желтый цвет закреплен за предаварийной, красный – за аварийной сигнализацией 4. Действия операторов должны подтверждаться
Достижение ситуационной осведомленности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основные параметры отображаются в трендах с указанием допустимых границ параметров пунктирными линиями темно-зеленого цвета, что позволяет спрогнозировать течение процесса 2. Тренд отображается не за весь промежуток процесса, а за рациональный, который позволяет оценить ситуацию – в данном случае 10 мин 3. Состояние выполнения текущего этапа процесса можно оценить с помощью полоскового индикатора
Логически обоснованная организация экранов с ориентацией на задачи, которые должны решаться оператором	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выделяется 5 экранов: процесс, отчеты, рецепт, диагностика, настройка 2. Все экраны имеют три обязательные зоны: меню переключения экранов, основная зона, зона отображения сообщений 3. Экран «процесс» предназначен для просмотра состояния течения процесса, его содержимое динамически изменяется в зависимости от текущего этапа технологического процесса.
Использование интуитивно понятной элементной базы интерфейса, которая соответствует цветовому алфавиту	<ol style="list-style-type: none"> 1. Цвет линий упрощенной мнемосхемы и цвет текста её элементов - темно-серый 2. Для отображения связи элементов контуров управления используется пунктирная линия черного цвета. 3. Для отображения активных элементов интерфейса (датчиков, исполнительных механизмов, ползунка прогресса) используется синяя линия с закраской белым цветом. 4. Цвет текста активных технологических параметров – синий. 5. Цвет текста параметров, которые подлежат вводу – светло-зеленый 6. Цвет текста элементов, по которым можно щелкнуть, - фиолетовый.

Разработка интерфейсных экранов. Рассмотрим реализацию каждого из пяти интерфейсных экранов. Как указано в табл. 2, разрабатываемый интерфейс должен состоять из 5 экранов.

Экран «Рецепт» позволяет создать или редактировать текущий рецепт. Рецепт задается для заданного типа материала и партии. Целью формирования рецепта является достижение заданных показателей качества продукции, в первую очередь – стойкости, микротвердости и толщины покрытия инструмента. Для определения этих параметров до работы инструмента возможно использовать формулы, приведенные в работе [13]. Рассмотрим определение параметров инструментов взятого нами материала – металлического резца 12X18H10T. Стойкость инструмента зависит от параметров технологического процесса – давления P , Па, температуры T , К, и времени нахождения t , с в ионизационной камере. Тогда, стойкость инструмента определяется по формуле

$$C = 0.12 \cdot \sigma \cdot 10^{-6} + 1.31 \cdot H + 4.24 \cdot \delta = 0.12 \cdot 4.30 \cdot 10^{-1} + 1.31 \cdot 31.72 + 4.24 \cdot 6.78 = 74.24 \text{ мин,}$$

где сцепление с покрытием σ равно

$$\sigma = 4.3 \cdot 10^5 - \left(10^5 \cdot (3.1 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 786))\right)^2 \cdot (2 - e^{0.19 \cdot P}) = 4.3 \cdot 10^5 - \left(10^5 \cdot (3.1 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 786))\right)^2 \cdot (2 - e^{0.19 \cdot 0.3}) =$$

$$= 4.3 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0.43 \text{ МПа}$$

микротвердость инструмента равна



$$H = 32 - \left(1 \cdot 10^{-4} \cdot (800 - 728 \cdot (1 + 0.08 \cdot P))^2\right) \cdot (2 - e^{0.22 \cdot P}) = 32 - \left(1 \cdot 10^{-4} \cdot (800 - 728 \cdot (1 + 0.08 \cdot 0.3))^2\right) \cdot (2 - e^{0.22 \cdot 0.3}) =$$

$$= 31.72 \text{ ГПа},$$

толщина покрытия инструмента равна

$$\delta = 1.111 \cdot 10^{-9} \cdot \tau \cdot (7.2 - e^{0.32 \cdot P}) = 1.111 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 \cdot (7.2 - e^{0.32 \cdot 0.3}) = 6.78 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Следовательно, уже при формировании рецепта можно предварительно оценить параметры качества. По результатам функционирования установки достигнутые параметры качества можно оценить, используя средние значения технологических параметров (значения параметров качества показаны на форме этапа охлаждения). Внешний вид экрана «Рецепт» показан на рис. 2.

Рис. 2 – Внешний вид экрана «Рецепт»

Экран «Процесс» используется для наблюдения за ходом выполнения всех этапов технологического процесса, который выполняется в соответствии с заданным в рецепте регламентом. Внешний вид экрана на первом этапе показан на рис. 3.

На рис. 3 показана технологическая ситуация превышения температуры при выполнении операции плавного повышения температуры на 1 этапе (ионной очистки). Управляемая переменная регулятора температуры (РТ1) достигла 207 °С, что превышает требуемое на 600 с управляющей программой значение в 177 ± 25 °С. Сообщение об этом отображается снизу экрана вместе с подачей звуковой сигнализации, которая продолжается до подтверждения сообщения. На рис.4 показан внешний вид указанного экрана на 2 и 3 этапе. На рис. 4, а показана технологическая ситуация отказа двигателя исполнительного механизма подачи азота в камеру при выполнении операции стабилизации давления и температуры в камере на 400 с. На рис 4, б показано нормальное выполнение операции плавного охлаждения 3 этапа технологического процесса на 1600 с. Поскольку этап нанесения покрытия завершен, то на экране возможно вывести рассчитанные показатели исходя из фактических отклонений параметры температуры и давления.

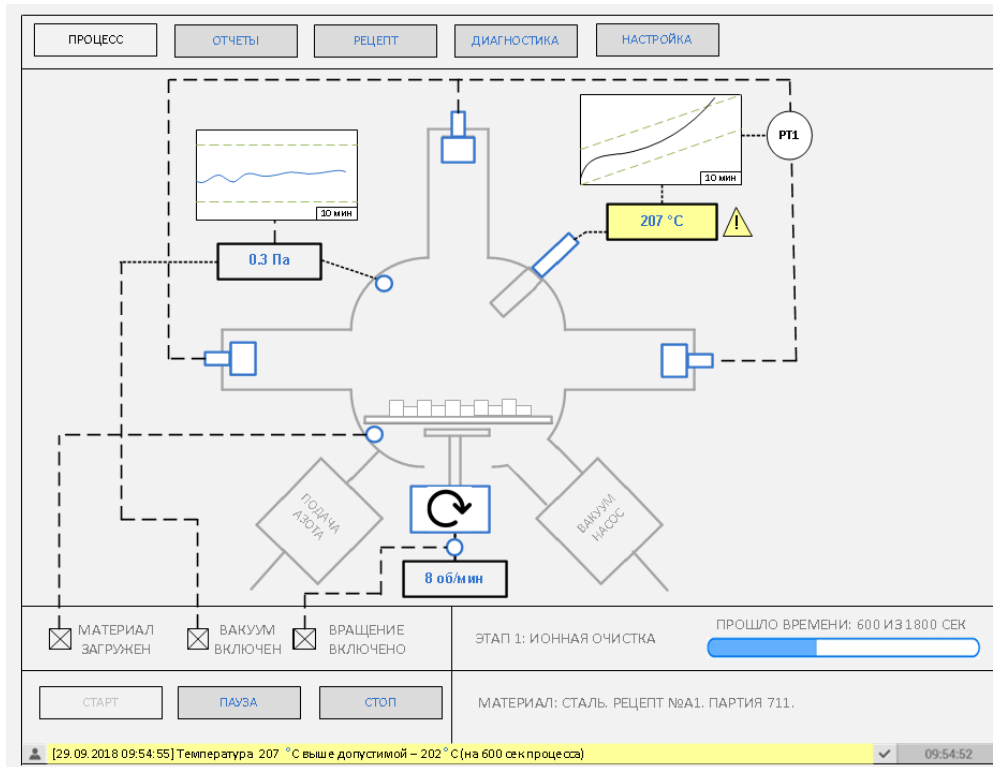
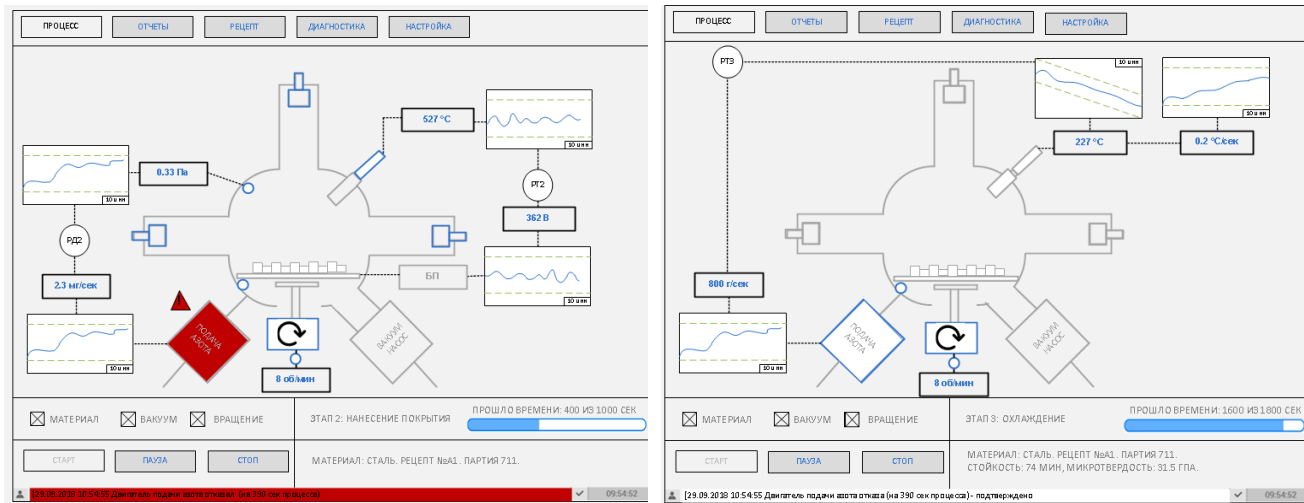


Рис. 3 – Внешний вид экрана «Процесс» на 1 этапе



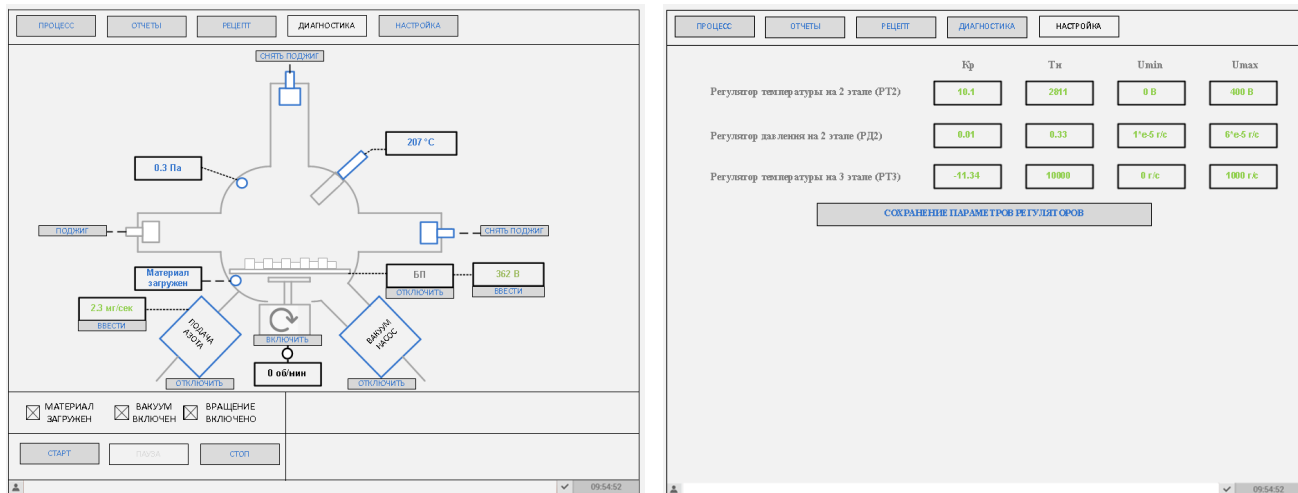
а) Этап нанесения покрытия

б) Этап охлаждения

Рис. 4 – Внешний вид экрана «Процесс» на 2 и 3 этапе

Экран «Диагностика» предназначен для выполнения диагностики функций системы автоматизации и для вмешательства в ход технологического процесса. При возникновении аварийной или предаварийной технологической ситуации оператор имеет три варианта действий: останов процесса, игнорирование сообщения до конца работы процесса (в случае предупреждений или отказа некоторого оборудования в конце этапа процесса), пауза процесса. В случае выбора паузы с помощью экрана диагностики возможно скорректировать управляющие воздействия и продолжить выполнение процесса. Внешний вид экрана показан на рис. 5, а.

Экран «Настройка» предназначен преимущественно для инженера по автоматизации и позволяет изменить настройки регуляторов. Внешний вид экрана показан на рис. 5, б.



а) Экран «Диагностика»

б) Экран «Настройка»

Рис. 5 – Внешний вид экранов «Диагностика» и «Настройка»

Экран «Отчеты» должен позволять отображать отчеты по изготовлению каждой партии, которые включают временные графики изменения параметров в каждом этапе, действия алгоритмов системы управления, действия операторов, возникшие ошибки, ожидаемые и достигнутые показатели качества продукции.

Выводы.

Проанализировано текущее состояние проблемы разработки эффективных интерфейсов для управления ионно-плазменными установками. Показано, что имеющиеся интерфейсы не соответствуют современным требованиям эргономики и предполагают чисто логическое управление процессом. На основе анализа работы установки «Булат» приведен технологический регламент процесса обработки металлорежущего инструмента, который является строго поэтапным с жесткими временными регламентами. Оптимальным решением является использование систем автоматического регулирования для каждого из этапов процесса, синтез которых проведен в работе [2]. Анализ регламента и современных практик разработки эффективных интерфейсов позволили сформировать требования к интерфейсу оператора ионно-плазменной установки, которая функционирует с использованием разработанных систем управления.

Разработаны экраны, которые соответствуют требованиям к интерфейсу. Приведен внешний вид экранов «Процесс», «Рецепт», «Диагностика» и «Настройка» в разных технологических ситуациях. Сформированы требования к экрану «Отчет». Дальнейшим направлением исследования является вопрос программно-технической реализации разработанных систем управления и интерфейса с помощью SCADA-системы.

Список использованных источников

- [1]. Киркопуло К.Г. Разработка системы автоматизации ионно-плазменной установки// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали XVIII міжнар. наук.-техн. конференції, 8-13 червня 2018 р. Одеса. 2018. С.110–113.
- [2]. Kurkopolu K., Tonkonogyi V., Stopakevych O., Stopakevych A. Design of a set of nonlinear control systems of the arc PVD ion plasma installation//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 2 (92). С. 65–74.
- [3]. Бодягин А. Автоматизированная система управления работой установки ионно-плазменного напыления в вакууме МАП-2// Современные технологии автоматизации. 2009. №3. С.52–56.
- [4]. García J.A., Martínez R., Rico M., Rodríguez R. Decorative electric arc PVD coatings// Proceedings of 48th Annual Technical Conference of Society of Vacuum Coaters, April 23 - 28 2005. Denver. 2005. P. 588–591.
- [5]. CatArc 2500 PVD Coating System. Brochure// Vergason Technology INC. 2018. 8p.
- [6]. Mazurkiewicz A., Smolik J. Development of Novel Nano-Structure Functional Coatings with the Use of the Original Hybrid Device// Materials Science Forum. 2011. V.674. P.1-9
- [7]. Yan Wenjun, Xu Qiao. Application of temperature control system based on precision control of PLC and touch screen// Issues on Modern Machines Mechanics:Proceedings of the VII International Scientific Conference, 25- 30 June 2018. Ulan-Ude. 2018. V.2. P.25-28.
- [8]. The 2016 International Manufacturing Technology Show (IMTS) at McCormick Place in Chicago. Brochure. 2016. 15p.



- [9]. Cczk Vacuum Physical Vapor Deposition (PVD) Thin Film Coating System, Equipment// Wenzhou Cichel Vacuum Machine Co., China. Brochure. 2018. 6p.
- [10]. Автоматизированной система управления вакуумной установкой ионно-плазменного азотирования ИМПЛАЗ 1000// НПЦ «Скада». Брошюра. 2018. 8с.
- [11]. Арабаджи А.Ф., Стопакевич А.А., Стопакевич А.А. Разработка современного человеко-машинного интерфейса в АСУТП на основе международных стандартов // Автоматизация технологических и бизнес-процесов. 2017. Т.10. №4. С.37–46.
- [12]. Стопакевич А.О. Аналіз недоліків типової практики розробки комп'ютерних людино-машинних інтерфейсів промислових систем автоматизації// 72 науково-технічна конференція ОНАЗ ім. О.С. Попова, 13-15 вересня 2015. Одеса, 2017. С.45-47.
- [13]. Тонконогий В.М., Оборский Г.А. Работоспособность и надежность инструментов с износостойкими покрытиями // Труды Одесского политехнического университета. 1997. № 1 (7). С. 130–133.

References

- [1]. К. Киркопуло, "Razrabotka systemy avtomatyzacyy yonno-plazmennoj ustanovky", in "Vymirjuvaljna ta obchysljuvaljna tekhnika v tekhnologichnykh procesakh": *Materialy XVIII mizhnar. nauk.-tekhn. konferenciji*, Odessa, 2018, pp. 110-113.
- [2]. К. Киркопуло, В. Тонконогий, О. Стопакевич and А. Стопакевич, "Design of a set of nonlinear control systems of the arc PVD ion plasma installation", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 292, pp. 65-74, 2018.
- [3]. А. Бодягын. "Avtomatyzyrovannaja systema upravlenija rabotoj ustanovky yonno-plazmennogo parylenuja v vakuumе MAP-2". *Sovremennye tekhnologhy avtomatyzacyy*, no. 3, pp.52–56, 2009.
- [4]. J.A. García, R. Martínez, M. Rico & R. Rodríguez. "Decorative electric arc PVD coatings", in *Proceedings of 48th Annual Technical Conference of Society of Vacuum Coaters*, Denver, 2005, pp. 588–591.
- [5]. *CatArc 2500 PVD Coating System. Brochure*. Vergason Technology INC, 2018, 8 p.
- [6]. А. Mazurkiewicz, J. Smolik. "Development of Novel Nano-Structure Functional Coatings with the Use of the Original Hybrid Device", *Materials Science Forum*, vol. 674, 2011, pp.1-9
- [7]. Yan Wenjun, Xu Qiao. "Application of temperature control system based on precision control of PLC and touch screen" in "Issues on Modern Machines Mechanics: Proceedings of the VII International Scientific Conference", v. 2, Ulan-Ude, 2018, pp.25-28.
- [8]. *The 2016 International Manufacturing Technology Show (IMTS) at McCormick Place in Chicago. Brochure*, 2016, 15p.
- [9]. *Cczk Vacuum Physical Vapor Deposition (PVD) Thin Film Coating System, Equipment*. Wenzhou Cichel Vacuum Machine Co., China. 2018, 6 p.
- [10]. *Avtomatyzyrovannoj systema upravlenija vakuumnoj ustanovkoj yonno-plazmennogo azotyrovanyja YMPLAZ 1000*. NPC «Skada». 2018, 8 p.
- [11]. А.Ф. Арабаджи, А.А. Стопакевич, А.А. Стопакевич. "Razrabotka sovremennogo cheloveko-mashynnogo ynterfejsa v ASUTP na osnove mezhdunarodnykh standartov", *Avtomatyziacija tekhnologichnykh i biznes-procesiv*. No. 4(10), pp. 37-46, 2017.
- [12]. А.О. Стопакевич. "Analiz nedolikiv tyповојј praktyky rozrobky komp'juternykh ljudyno-mashynnykh interfejsiv promyslovykh system avtomatyzaciji" in *72 naukovо-tekhnichna konferencija ONAZ im. O.S. Popova*, 2015, pp.45-47.
- [13]. V.M. Tonkonoghyj, Gh.A. Oborskyj. "Rabotosposobnostj y nadezhnostj ynstrumentov s yznosostojkymy pokrytyjamy, *Trudy Odesskogho polytekhnicheskogho unyversyteta*. No 1(7), pp. 130–133, 1997.



UDC 004.942

RESEARCH AND ANALYSIS THE DISPLAY METHODS FOR ALGORITHMS IN COMPUTING TASKS ON THE STRUCTURE OF COMPUTER SYSTEMS

Antonova A.¹, Onoshenko O.², Snigur T.³^{1,2,3} – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa¹ORCID: 0000-0003-3599-0983, ³ORCID: 0000-0003-3636-0051E-mails: ¹allaantonova62@gmail.com, ²newtonel.work@gmail.com, ³snigurochka.t@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1235](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1235)

Анотація: У статті розглядаються питання технології та методології для автоматизації процесу пошуку та розробці нових способів застосування сучасних технологій комп'ютерного моделювання та сучасних методів обчислень, а потім розробки програмного забезпечення для автоматизації фізико-технічних і технологічних досліджень та розрахунків. Оскільки, дані технології досить розвинуті самі по собі та мають велику базу знань, варіантів їх використання дуже багато, від навчальних до інженерних додатків, то не менш актуальною, є тема візуалізації планів, схем або дизайну майбутнього обладнання, а також складання графіків порівняння характеристик вже існуючих пристроїв та плануємих до розробки та виробництва. Для виконання самого дослідження була виконана інформаційна опрацювання (статті, доповіді, самі засоби автоматизації) етапів розвитку даної теми. В результаті авторами зроблені висновки про подальші напрямки розвитку по даній тематиці, виявлені переваги існуючих рішень і визначені області, які недостатньо опрацьовані.

Abstract: The article deals with the issues of technology and methodology for the automation of the process of searching for and developing new ways of using modern computer modeling technologies and modern computing methods, and then developing software for the automation of physical, technical and technological research and calculations. Because the given technologies are sufficiently developed in themselves and have a large knowledge base, there are many variants of their use, from educational to engineering applications, no less relevant, there is a topic of visualization of plans, schemes or design of future equipment, as well as drawing up charts of comparison of characteristics already existing devices and plans to develop and manufacture. In order to carry out the research itself, information processing (articles, reports, automation means itself) was carried out for the development stages of this topic. As a result, the authors draw conclusions about further directions of development in this subject, identify the advantages of existing solutions and identify areas that are underdeveloped.

Ключові слова: моделювання, програмне забезпечення, автоматизація інженерних розрахунків, порівняльний аналіз

Keywords: modeling, software, automation of engineering calculations, comparative analysis

Introduction

The purpose of the research is to study the automation technologies for calculations to help solve the problem of construction optimization of heat and mass exchange machines, optimize the parameters of operating modes of refrigeration and air conditioning systems, and develop a computer application that allows the user to test all the benefits of automated calculations. One of the important parts of the whole project is the user interface and the appearance of the calculation results, which will be given much attention and research time..

Analysis of the current state of the question

The current state of the development of computer systems for information processing and management is characterized by the expansion of the fields of application, much of which require elaboration in complex algorithms for the intensity of the flow of data on hardware and computer media that meet the limitations of dimensions, energy consumption, cost and time development [1].



Computer system - an information and technical complex for the purpose of processing, saving, input-output information. The computer system includes computers, printers, servers, etc. with software. Information is exchanged through the computer network, through the local or global data transmission system. When describing the systems, they use technical, organizational, documentary, functional, algorithmic, software and information structures. Problems solved in computer information systems, have a number of characteristic features that affect the technology of automated data processing. The computer system has the ability to integrate with other engineering technologies, expand the capabilities and create a single environment for management due to the diversity and unification of computer equipment.

Computer systems are very important in the modern world. They are used, practically, in all spheres of society, have become irreplaceable for modern managers (and not only). Thanks to the computer system it is possible to solve applied tasks in the subject areas of activity such as technological preparation, management, accounting, automation of processes [9].

The experience of solving research and application problems shows that regardless of their complexity, the ultimate goal can be achieved either by the formulation of an experiment or by the method of mathematical modeling. Each of these methods has its advantages and disadvantages. With the help of an experiment it is possible to solve even very complex tasks, while the reliability of the results is higher, the more thoroughly worked out is the technique of experiment. At the same time, the results obtained will relate only to the conditions under which the experiment was conducted, as a result of which the generalization of results to other conditions is not correct. In addition, we must take into account the economic side of staging a complex experiment. In this regard, the method of mathematical modeling with the help of computer technology is more likely when analyzing not a real task, but its model image. The process of mathematical modeling is depicted in the following sequence: the physical formulation of the problem; mathematical statement of the problem; mathematical study of the problem; analysis and comprehension of the mathematical solution and comparison of it with the experiment [2].

The process of mathematical modeling is depicted in the following sequence: the physical formulation of the problem; mathematical statement of the problem; mathematical study of the problem; analysis and comprehension of the mathematical solution and comparison of it with the experiment. Let's consider more mathematical formulation and mathematical study of the problem. The mathematical formulation consists in the formation of a mathematical model of the investigated problem, which is usually a system of equations of mathematical physics (differential, integral, integral-differential). The mathematical study of the problem actually reduces to solving the system of equations and analyzing the results obtained. We can solve the output for relatively simple problems: in the system of equations and the solution to submit as dependencies expressed through elementary and other known functions. If possible, then they say that an analytical (exact) solution of the problem has been found. However, the overwhelming majority of practically important problems do not have analytical solutions. These include, for example, the construction tasks: the determination of the stress-strain state of plates, foundations; stability problems, thermal conductivity for solids; directed diffusion, etc. In these cases, numerical methods are used which, by operating the system of algebraic equations (analogous to the equations of mathematical physics), make it possible to construct a certain sequence of arithmetic operations, increasing the number of which gives an exact solution. Since in practice there is a finite number of steps (operations), the solution found is approximate. And as computational operations are performed over numbers, then the corresponding methods are called numerical. The greatest development of numerical methods has recently been achieved due to the use of computer technology, which has high computational speed and a large capacity of RAM. However, the main role in this case is given, of course, to a person who should be able to formulate and assign a task, to describe its mathematical dependencies (to create a mathematical model of an object), to formulate an algorithm for solving a problem on computer technology, to write a program in algorithmic language, understood by computer, to solve the problem and to evaluate the results [3].

Regarding the evaluation of the calculation results, it should be noted that the combination of numerical methods and computer technology makes it possible to do it effectively and promptly, varying the most important parameters of the design scheme of the problem with the subsequent numerical analysis of their impact on the final result. In fact, it is a numerical experiment because the terms of the problem can be changed many times. Despite the differences in the methodology, a physical experiment and physical research are closely related to the numerical experiment, especially in the part where the evaluation of the reliability of the results is required. The mathematical model of an object is a set of equations that examines real physical objects (processes, phenomena). The mathematical model is not the same as the investigated object, but it is only its approximate description, since it is built with some simplifications and idealization. The model takes into account the most important moments and interrelationships that are most characteristic of the real object being studied. At the same time, due to the replacement of the real object with the corresponding mathematical model it became possible to formulate the problem as a mathematical problem and use it for solving it by one or another mathematical apparatus. The algorithm is an understandable and precise prescription (an instruction) for the performer to carry out a sequence of actions aimed at achieving this goal or solving the task. The accuracy of the solution is a measure of the proximity of the numerical solution to the analytic one. Convergence of the solution is a gradual approximation of it to the exact one. After choosing a mathematical model of an object and its description in algorithmic machine language, numerical implementation of the problem on computer technology is carried out. Recently, in the realization of practical tasks, for the most part, they use computer technology, which can perform from several hundreds to millions of operations per second. The greatest application in engineering calculations has acquired computer equipment, which have not only high-speed computing, modern software, but also an advanced service part



that allows you to quickly diagnose errors, to graphically display the results of calculations, to perform calculations in dialog mode. Great popularity among users also acquired Personal computers also acquired great popularity among users[4].

Analysis of analogic systems

Like any technological process, the processing of information on a computer is formed by a set of actions performed in a certain way and in a certain sequence. This specially organized process is carried out with the help of two main components of any type of computer technologies - its hardware and software.

Let us consider the existing software system of different application lines.

Applied computing solutions for logistic tasks

Managing logistics systems, product supply chains, or individual fragments of them is highly effective, with the use of modern tools for solving tasks that require optimization. It contains not only known mathematical methods and models with worked out algorithms for solving economic problems, but also so-called security tools. Without these two components, a modern specialist in the field of logistics is not able to provide an equilibrium state of the logistics system, the supply chain.

For this period of development of society, the computer, as a means of ensuring the successful work of professionals, is well known to all, first of all, as a calculating machine. Serious economic and managerial tasks are solved with its help. To succeed in their solution, now logistics provided modern software tools that combine a large arsenal of common various computing packages and special packages for processing various information. Here is a brief description of them.

1. The problem-oriented software package of numerical methods MERCURY is intended for the solution of various applied computational tasks, such as economic and managerial tasks. This package uses systems of linear and nonlinear algebraic equations, optimization of functions, analysis of properties of functions using graphs, etc. MERCURY can handle the relatively optimal level of managerial tasks that are relatively simple in size. Its main drawback is certain restrictions on the amount of information that needs to be entered into the database.

2. MathCAD combines a series of mathematical systems with a user-friendly interface. Different versions of this system are known today, which provide an opportunity to solve the problem of recording very complex mathematical expressions such as integrals, matrices, symbols of sums and products, systems of equations with constraints, etc., rather quickly.

The system makes it possible to visual work with graphics, especially two-dimensional. There is also implemented three-dimensional graphics and built-in capabilities for building animated charts, allowing you to see the process in dynamics.

3. With regard to a wide range of managerial tasks and office technologies that are widely used by managers and logists, graphic systems and image processing programs are of interest - Paintbrush, Paint, Ulead ImagePals, Adobe Photoshop, CorelDRAW graphics packages and more..

4. Tools for processing text information - modern text editors, which represent a software product that provides the user computer tools for creating, processing and storing documents of various nature and complexity. These include text editors (MultiEdit, Brief, Norton Editor, Quick, etc.), document editors (Lexicon, Ami Pro, Microsoft Word, etc.), publishing systems (Corel Ventura Publisher, Adode PageMaker, QuarkXPress, etc.) editors of scientific texts (TEK, Mathor, etc.).

5. Tables data processing tools – Microsoft Excel.

6. Integrated systems. Two systems of this class are widely known: MS-WORKS and Microsoft Office. They are, in essence, an integrated software package. The components included in the complex can be used both individually and together for the solution of business day-to-day tasks..

Network technologies - a kind of informational space that provides users with the means of information exchange and collective use of network resources: hardware, software and information. With the help of the network, different issues are solved regardless of the location of clients and partners, which is especially useful for logists with a large geography of communication..

To date, logistics is mainly used by three groups of networks:

- networks that connect personal computers directly to each other using regular telephone lines;
- UUCP-based networks (UNIX-to-UNIX Copy Program) and connecting large numbers of computers using both regular telephone lines and specialized high-speed channels.;
- networks that are part of the Internet community and provide not only the ability to transfer any information, but also access to seized resources in real time scale.

The following list of software used in logistics activities, along with mathematical methods, of course, promotes a quick solution to tasks that require optimization. However, this software is common for both logistics, for managers, for marketers, and for many professionals working in different fields. You can specify the following for a specific logistics area.

The rapid speed of development of information technologies allows us to obtain modern arithmetic tools for making logistic solutions, special computing or modeling packages. To date, they have been developed quite a lot and they are used quite effectively by European and American firms and companies. For example, standard sets of routing tasks such standard packages as PARAGON, CAST, OPTRACK, the referent model SCOR for managing supply chains, modern software program ORACLE for the management of logistics systems, including supply chains and many others have been widely used in Europe and America. Due to the impossibility of describing all existing packages for an example, let us consider only two, which are successfully used today by the logistics services of enterprises, companies and companies of Ukraine - these are the software product ORACLE and the reference model SCOR [7].



Applied computing solutions for engineering tasks

In [8] a mathematical model of dynamics with distributed parameters for a reflux absorber diffusion refrigeration machine is developed that describes the temperature distribution along its surface (temperature field) with a known temperature distribution of the vapor-liquid mixture. When receiving this model, a porous approach was used. According to it, the reflux was considered to consist of a set of interconnected cells of small length, each of which is described by a model with lumped parameters. The surface temperature of each i -th cell is determined by their initial values (at $t = 0$), the total heat flow to it is

- 1) heat flow from a steam water-ammonia mixture to a wall of a reflux condenser;
- 2) heat flux into the environment from the wall of the reflux condenser;
- 3) the heat flow along the reflux conduit) and at time t from the moment of change.

The system allows simulation and calculations at different values of distances and the different nature of the temperature change of a steam-liquid water-amine mixture in a reflux membrane.

Software for calculation of the developed algorithm of real-time calculation of the values of the temperature of the vapor-liquid mixture in the defluhemator of the absorption diffusion refrigeration machine. These temperature values are not available for direct measurement. This system creates a real basis for the creation of automatic optimization systems for the operation modes of absorption diffusion refrigeration machines on the criterion of maximum energy efficiency.

In [9] the following problems are considered:

- the problem of development of circuit solutions for multifunctional systems with direct (direct) regeneration of absorbent and improvement of heat-mass exchange devices of drainage and cooling circuits of solar systems of air conditioning are considered::
- theoretical and experimental development of a new class of gas-liquid-type solar energy converters for direct absorption of regeneration;
- creation of unified compact heat and mass exchange equipment (absorber-dehumidifier with internal evaporative cooling, solar desorber-regenerator, evaporative coolers), which ensures minimization of energy consumption;
- modeling of working processes taking into account the characteristics of film flows in heat-mass exchange machines and conducting research of solar regenerators of absorbent and evaporative coolers;
- obtaining the results and recommendations that provide the calculation and design of such systems on the basis of the completed cycle of theoretical and experimental work.

Conclusion

The research of the technology of creation of software for automation of engineering calculations and its application on the modern wide market, one of which is mechanical engineering, production of refrigerating technics, air conditioning devices, is carried out. To do this, the mathematical model for calculating heat loss in the middle of the channels of various heat-mass-exchange units was improved, a software product was constructed with the ability to set up individual calculation parameters.

To achieve the goals and objectives, the necessary tools and tools were first identified for each part of the project, which are models, program code, user interface. Development was started with the study of models of research objects, further using the environment and development tools created software implementation for models. The final task was to collect the results of calculations and visualize the results in the form of comparative graphs.

References

- [1] I. Смос, B. Demida and M. Podolskiy, "Metodi proetirovaniya specilizirovannih kompiuternih system upravleniya i obrabotki signalov v realnom vremeny", MON Ukraine, NAN Ukraine, *Ukrainskaya asociaciya po avtomaticheskomu upravleniyu. Nauchno-tehnicheskij jurnal "Avtomatika. Avtomatizaciya. Elektotekhnicheskie kompleksi i sistemi"*, no. 2, pp. 137-145, 2009.
- [2] Parallelnaya obrabotka informacii: v 5 t. / AN USSR. Fiz-makh. Institute.- Kiev: Naukova dumka, tom 5, 1984.
- [3] A. Aksenov, V. Aristov, E. Barzilovich i dr.: pod red. B. malinovskogo i V. Gricika. – 1990. -504 s.
- [4] Metodi rozrobki algoritmiv: Teksti lekcij / O. Kostiv, S. Yaroshko: Lvivskiy nac. Universitet im. I. Franko. – L., 2002. – 99 s.
- [5] Forsait Dj. Malkolm, R. Moulter. Mashinnie metodi matematicheskikh vichesleniy. – M.: Mir, 1980. – 279 s.
- [6] D. Metuz, G. Cink, D. Kurtis. Chislennie metodi. Ispolzovanie Matlab, - M. Izdatelskiy dom "Vilyams", 2001. – 720 s.
- [7] <http://www.klaster-plus.ua/ua/about/deyatelnost/kompjuternye-sistemy/>
- [8] V. Khobin and O. Titlova. K voprosu izmereniya parojidkostnogo fronta v deflegmatore absorbceonno-diffuzionnoy holodilnoy mashini (ADHM). *Nauchno-tehnicheskij jurnal "Avtomatika. Avtomatizaciya. Elektotekhnicheskie kompleksi i sistemi"*, vol. 2, no. 30, pp. 94 – 102, 2007.
- [9] A. Antonova. Teoreticheskoie i eksperimentalnoe issledovanie processov v gazojidkosynom solnechnom kollektore-regeneratore alternativnih holodilnih system [Tekst]: dis. kand. tehn. nauk: 05.14.06: zashisheena 29.09.2014: zatverdij. 25.11.2014 / - Odesa, 2014. – 205 s. – Bibliogr.: s. 186-205.

Список використаних джерел



- [1] Цмоць І. Г., Демида Б.А., Подольський М.Р. Методи проектування спеціалізованих комп'ютерних систем управління та обробки сигналів у реальному часі мон украины, нан украины, украинская ассоциация по автоматическому управлению. Научно-технический журнал «Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы», 2009, №2, сс.137-145.
- [2] Параллельная обработка информации: в 5 т. / АН УССР. Физ-мех. ин-т. – Киев: Наукова думка, 1984. – том 5.
- [3] Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации / А.И. Аксенов, В.В. Аристов, Е.Ю. Барзилович и др.; Под ред. Б.Н. Малиновского и Грицика В. В. – 1990. – 504с.
- [4] Методи розробки алгоритмів : Тексти лекцій / О. В. Костів, С. А. Ярошко; Львів. нац. ун-т ім. І.Франка. - Л., 2002. - 99 с.
- [5] Форсайт Дж., Малькольм., Мулер Р. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980. – 279с.
- [6] Д. Мэтьюз, Г. Цинк, Д. Куртис. Численные методы. Использование Matlab, –М. Издательский дом “Вильямс”, 2001. – 720 с.
- [7] <http://www.klaster-plus.ua/ua/about/dejatelnost/kompjuternye-sistemy/>
- [8] Хобин В.А., Титлова О.А. К вопросу измерения парожидкостного фронта в дефлегматоре абсорбционно-диффузионной холодильной машины (АДХМ) // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – №2 (20). – С. 94 – 102.
- [9] Антонова, А. Р. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів у газорідних сонячних колекторах-регенераторах альтернативних холодильних систем [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.14.06 : захищена 29.09.2014 : затвердж. 25.11.2014 / Альфія Раїсівна Антонова. – Одеса, 2014. – 205 с. – Бібліогр.: с. 186–205.

УДК 004.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИГРАХ

Бутов Б.В.¹, Тишин П.М.², Шапорин В.О.³

^{1,2,3} – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

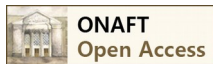
ORCID: ¹0000-0003-2506-5348, ²0000-0002-9508-9700, ³0000-0001-6494-7648

E-mail: ¹bogdan17but@gmail.com, ²petrmettal@gmail.com, ³shaporin_v@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1236](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1236)

Аннотация: В статье описывается использование нечеткой логики для решения задач искусственного интеллекта в играх. Представлены основные проблемы в создании искусственного интеллекта, а также основные методы реализации искусственного интеллекта в играх. Основное внимание уделено методу нечеткой логики, преимуществам и недостаткам его в практическом применении. Нечеткая логика представляет собой надмножество традиционной логики, которое было расширено для обработки понятия значений частичной правды между булевой функции истины и ложности. Нечеткая логика обычно принимает форму нечеткой системы рассуждений, а ее компоненты - это нечеткие переменные, нечеткие правила и механизм нечеткого вывода. Этот метод позволяет лингвистически сформулировать цели несобственного персонажа (NPC) и предоставляет возможность оценки ситуаций для принятия решения.

Основной целью работы представлена разработка интеллектуального агента, который реализует поведенческие реакции на основе правил с использованием нечетких множеств. В качестве практической задачи представлена задача описания поведенческой реакции NPC на интерактивные объекты, при достижении определенной цели. Для решения этой задачи введено понятие постортгоналного пространства, которое позволяет описывать множество нечетких ситуаций и сравнить их между собой.

В результате была построена таблица правил поведения NPC, на основе которой можно спроектировать поведенческую реакцию NPC. Основным преимуществом данной модели является задание нечетких ситуаций с



помощью лингвистических переменных. Это обеспечивает простоту понимания условий на этапе разработки и создания модели более сложных ситуаций.

Abstract: The article describes the use of fuzzy logic to solve artificial intelligence problems in games. The main problems in the creation of artificial intelligence, as well as the basic methods for the implementation of artificial intelligence in games are presented. The focus is on the method of fuzzy logic. advantages and disadvantages of it in practical application. The fuzzy logic represents the superstition of traditional logic, which was expanded to handle the concept of partial truths between the Boolean function of truth and falsehood. Fuzzy logic usually takes the form of an obscure system of reasoning, and its components are fuzzy variables, fuzzy rules, and the mechanism of fuzzy output. This method allows the linguistic formulation of the objectives of the improper character (NPC) and provides an opportunity to assess situations for decision making.

The main purpose of the work is the development of an intellectual agent that implements behavioral responses based on rules using fuzzy sets. As a practical task, the task of describing the behavioral response of an NPC to interactive objects, when achieving a specific goal, is presented. In order to solve this problem, the concept of a post-thoroganal space is introduced, which allows describing a set of fuzzy situations and comparing them with each other.

As a result, a table of NPP behavior rules was constructed, on the basis of which it is possible to design the behavioral response of NPPs. . The main advantage of this model is the task of fuzzy situations with the help of linguistic variables. This ensures easy understanding of the conditions at the design stage and the creation of a model of more complex situations.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, NPC, нечеткое множество, нечеткая логика, компьютерные игры, принятие решения, постортогональное пространство.

Keywords: Artificial Intelligence, NPC, fuzzy set, fuzzy logic, computer games, decision making, post-orthogonal space.

Введение. На сегодняшний день разработка игр является трудоемким и сложным процессом, который включает в себя множество отраслей от графического оформления, сценарного мастерства до программирования. Широкое применение в игровой индустрии отведено разработке искусственного интеллекта (ИИ). К ИИ относятся следующие аспекты видеоигры: управление анимацией, рулевое управление, процесс поиска на местности, планирование, тактическое и стратегическое мышление и обучение [1, 2]. Развитие новых методов и технологий ИИ является основной проблемой в разработке NPC, так как ИИ это сложно-программируемый комплекс команд, который основан на системе принятия решений в определенной ситуации.

Но игровой ИИ является лишь одной из ветвей более широкого применения искусственного интеллекта. Согласно Алану Тьюрингу, которого считают отцом искусственного интеллекта, агент является интеллектуальным, если его поведение невозможно отличить от человека [3]. Игровой ИИ добавляет еще одну часть определения ИИ. Для того, чтобы игра была успешной, не нужны высокоумные, человекоподобные, непобедимые экспертные оппоненты, требуется внедрить убедительных противников, агентов ИИ, с которыми не скучно играть [4].

Поэтому большинство игр используют очень простые методы ИИ такие как конечные автоматы (FSM) и деревья принятия решений [1, 2].

Байесовские сети используются в стратегии реального времени игры (RTS) для планирования цели [1]. Появляются нейронные сети в серии игр Creatures, а также в нескольких режимах реального времени стратегические игры и в отмеченной наградами игре Black & White 2. В последнее время использование эволюционных алгоритмов был популяризирован в видеоигре Галактическое Оружие [5].

Эти методы трудно реализовать в сравнении для FSM или деревьев решений. Некоторые из более продвинутых методов, например, генетические алгоритмы, обычно приносят с собой либо высокую вычислительную стоимости или высокой стоимости памяти.

Среди этих методов нечеткая логика является одним из важнейших инструментов, которые должен использовать разработчик игрового ИИ из-за простоты её формулировки в сочетании с её выразительности.

Нечеткая логика представляет собой надмножество традиционной логики, которое было расширено для обработки понятия значений частичной правды между булевой функции истины и ложности. Нечеткая логика обычно принимает форму нечеткой системы рассуждений, а ее компоненты - это нечеткие переменные, нечеткие правила и механизм нечеткого вывода.

Теория нечетких множеств была введена в 1965 году Лотти А. Заде в области академического искусственного интеллекта [6], но реализовать его идеи удалось японским исследователям, которые продемонстрировали практическое использование нечетких систем управления. Нечеткая логика также используется в сочетании с другими методами ИИ, такими как эволюционные алгоритмы или нейронные сети, в обучении и классификации [7].

Как и многие другие академические методы ИИ, нечеткая логика была протестирована в видеоиграх [7]. Нечеткая логика была официально представлена в разработке игр в 1996 Ларри О'Брайеном [8] и с тех пор изучена и усовершенствована другими авторами [1,2].

Преимущества нечеткой логики

Нечеткая логика может быть полезна для игрового ИИ в нескольких аспектах. Она может использоваться для принятия решений NPC, таких как выбор предметов или оружия, для управления движением юнитов.



Из-за лингвистического характера нечеткой логики формулировка правил может быть выполнена экспертами в области ИИ, а затем нечеткая система может использоваться для подражания рассуждениям эксперта [9]. Это большое преимущество по отношению к другим методам, которые требуют знания как самого метода, так и правил его настройки.

Нечеткие методы позволяют строить отношения ввода-вывода на основе знаний эксперта без необходимости создания сложной математической модели, которая может оказаться утомительной или невозможной для получения [7].

Нечеткая логика может использоваться для моделирования сложного поведения с низкой вычислительной стоимостью [1].

Недостатки применения нечеткой логики

Нечеткая логика требует правильного определения входных и выходных переменных, а также их отношений. Если нет эксперта в области ИИ, сложно будет разработать правила и, возможно, потребуются много настроек, что приведет к увеличению времени разработки.

Конструирование нечеткой системы для игры со многими агентами, в случае если они не будут тщательно разработаны, может привести к проверке сотен правил на каждом временном шаге, полностью исключая преимущества низкой вычислительной стоимости единичных проверок. Хотя самый простой вариант нечеткой системы появляется в большинстве игр, из-за этого недостатка были предложены улучшения, связанные с природой игрового ИИ. [2].

Один конкретный пример недостатка многих правил в нечеткой логике называется комбинаторным взрывом [10]. Разработчики игрового ИИ предлагают принять метод Комбса [11], который позволяет линейный рост правил в отношении числа переменных и множеств.

Литературный обзор. Пересматривая литературу, мы можем найти несколько упоминаний об использовании нечеткой логики в видеоиграх.

BattleCruiser: 3000AD6 - это космическая стратегическая игра с противоречивой историей развития, которая использует нечеткую логику наряду с нейронными сетями для управления неигровыми персонажами в игре [12].

S.W.A.T. 27, представляет собой тактическую игру в реальном времени, которая была посвящена широкому использованию нечеткой логики, позволяющей неигровым персонажам вести себя спонтанно на основе их определенных личностей и способностей [12,3].

Civilization: Call to Power8, пошаговая стратегическая игра, являющаяся побочным эффектом очень известной франшизы, использует FuSMs для определения приоритетов для AI стратегического уровня, позволяя определить индивидуальные черты для разных лидеров цивилизации [3].

Из приведенных примеров мы видим, что нечеткая логика успешно используется в играх, хотя разработчики, как правило, не идут дальше, чем простые логические системы вывода.

Цель и задачи исследования. Основной целью работы представлена разработка интеллектуального агента, который реализует поведенческие реакции на основе правил с использованием нечетких множеств. В качестве практической задачи будем рассматривать конкретную ситуацию в которой участвуют объекты интерактивного окружения, такие как дверь и лестница. Задача состоит в том, чтобы реализовать поведенческую реакцию на открытие двери и поднятие по лестнице для достижения определенной цели в игровой сцене [13].

Разработка правил с использованием нечетких множеств. При общем подходе NPC будет принимать эти объекты как препятствия и не станет взаимодействовать с ними. В целях устранения этой проблемы можно использовать нечеткую логику для выработки форм поведения, необходимых для взаимодействия с этими объектами. Чтобы избежать многозначности трактования семантических значений одного и того же параметра в различных ситуациях, строятся полные ортогональные семантические (постортогональные) пространства [14], которые служат областями нечетких значений каждого из параметров вне зависимости от рассматриваемой системы.

Для построения полного ортогонального семантического пространства (ПОСП) некоторого нечеткого параметра \tilde{p}_i определяется множество нечетких значений $\tilde{D}_i = \{\tilde{p}_i^k\} k = 1 \dots K_i$, где K_i количество нечетких значений, принимаемых i -м параметром, в виде нечетких чисел с функцией принадлежности μ_i^k , которая определена на интервале (p_{ib}^k, p_{ie}^k) , де $(p_{ib}^k, p_{ie}^k) \in D_i$ – значения начала и конца интервала соответственно, а D_i - базовое множество нечетких значений параметра \tilde{p}_i .

Для того, чтобы построенные \tilde{D}_i множества были ПОСП, необходимо, чтобы они удовлетворяли следующим аксиомам :

Аксиома 1– нормальность: каждая функция принадлежности μ_i^k нечетких значений \tilde{p}_i^k достигает единицы на



некотором ненулевом отрезке значений $[p_{ib_1}^k, p_{ie_1}^k]$ базового множества D_i :

$$\forall k \in [1; K_i] \quad \exists \tilde{p}_i^k \in \tilde{D}_i : \mu_i^k(p) = 1 \quad p \in [p_{ib_1}^k, p_{ie_1}^k]$$

Аксиома 2 – функция μ_i^k не убывает слева от $p_{ib_1}^k$ и не возрастает справа от $p_{ie_1}^k$:

$$\begin{aligned} \mu_i^k(p) &\geq \mu_i^k(p_{ib_1}^k), & p < p_{ib_1}^k \\ \mu_i^k(p) &\leq \mu_i^k(p_{ie_1}^k), & p > p_{ie_1}^k \end{aligned}$$

Аксиома 3 - функции μ_i^k не могут иметь более двух точек разрыва первого рода.

Аксиома 4 - полнота: для любого значения P из множества D_i найдется нечеткое значение $\tilde{p}_i^k \in \tilde{D}_i$ с ненулевым значением функции принадлежности $\mu_i^k(p)$ в данной точке:

$$\forall p \in \tilde{D}_i \quad \forall k \in [1; K_i] : \mu_i^k(p) \neq 0$$

Аксиома 5 - ортогональность: сумма всех значений функций принадлежности $\mu_i^k(p)$ в некоторой точке P базового множеств D_i должна равняться единице:

$$\sum_{k=1}^{K_i} \mu_i^k(p) = 1, \quad p \in D_i$$

Каждое нечеткое число $\tilde{p}_i^k \in \tilde{D}_i$ определяется через функцию принадлежности следующего вида:

$$p_i^k \Rightarrow \mu_i^k(p_i^k) = \begin{cases} 0, & p_i^k \leq p_{kb_1}^i, p_i^k \geq p_{ke_1}^i \\ \frac{p_i^k - p_{kb_1}^i}{p_{kb_1}^i - p_{kb_1}^i}, & p_{kb_1}^i < p_i^k < p_{kb_1}^i \\ 1, & p_{kb_1}^i < p_i^k < p_{ke_1}^i \\ \frac{p_i^k - p_{ke_1}^i}{p_{ke_1}^i - p_{ke_1}^i}, & p_{kb_1}^i < p_i^k < p_{ke_1}^i \end{cases} \quad i = 1..N_p, k = 1..K_i \quad (1)$$

С учетом $\mu_1^k < D_i, \mu_2^k < D_i, \mu_n^k < D_i$ где $< D_i$ отношение строгого порядка на множестве нечетких значений i -го параметра, должны выполняться следующие условия:

$$\begin{cases} p_{bk_1}^i = p_{bk_1}^i = \frac{\min(p_i)}{D_i} \\ p_{ke_1}^i = p_{ke_1}^i = \frac{\max(p_i)}{D_i} \end{cases} \quad i = 1..N_p$$

где p_i^k - некоторое четкое значение i -го нечеткого параметра $p_{ke_1}^i, p_{kb_1}^i$ соответственно начальное и конечное значения интервала значений базового множества D_i , на котором функция принадлежности k -го нечеткого значения i параметра положительно определена; $p_{ke_1}^i, p_{kb_1}^i$ - начальное и конечное значения соответственно интервала значений базового множества D_i , на котором функция принадлежности k -го нечеткого значения i -го параметра равна единице.

Для определения состояния объекта необходимо сравнивать некоторую входную нечеткую ситуацию S_i с каждой нечеткой ситуацией S_j . В качестве меры для определения степени близости нечеткой ситуации S_i нечеткой ситуации S_j используются: степень нечеткого включения нечеткой ситуации S_i в нечеткую ситуацию S_j , степень нечеткого равенства нечеткой ситуации S_i и нечеткой ситуации S_j . Выбор меры близости определяется особенностями нечеткой ситуации и организацией блока принятия решений.

Так, для следующих нечетких ситуаций:

$$S_i = \left\{ \frac{\mu_{S_i}(p_m)}{p_m} \right\}_{m=1}^M, \quad S_j = \left\{ \frac{\mu_{S_j}(p_m)}{p_m} \right\}_{m=1}^M,$$



где $\{p_m\}_{m=1}^M$ - набор признаков, по которым определяются нечеткие ситуации, а

$$\mu_{S_i}(p_m) = \left\{ \frac{\mu_k^i(T_{mk})}{T_{mk}} \right\}_{k=1}^{P(m)}$$

где $\mu_{S_i}(p_m)$ - степень принадлежности признака p_m к терму T_{mk} , а $P(m)$ - количество термов в терм-множестве признака p_m .

Определение: Степенью включения ситуации S_i в ситуацию S_j является величина $\vee(S_i, S_j)$, определяемая выражением:

$$\vee(S_i, S_j) = \wedge_{m=1}^M \vee \mu_{S_i}(p_m), \mu_{S_j}(p_m)$$

где $\mu_{S_i}(p_m), \mu_{S_j}(p_m)$ вычисляется следующим образом:

$$\vee \mu_{S_i}(p_m), \mu_{S_j}(p_m) = \wedge_{m=1}^{P(m)} (\mu_k^i(T_{mk}) \rightarrow (\mu_k^j(T_{mk})))$$

где $(\mu_k^i(T_{mk}) \rightarrow (\mu_k^j(T_{mk})))$ определяется отношением:

$$(\mu_k^i(T_{mk}) \rightarrow (\mu_k^j(T_{mk}))) = \max(1 - \mu_k^i(T_{mk}), \mu_k^j(T_{mk}))$$

При этом считается, что ситуация S_i нечетко включается в ситуацию S_j , $S_i \subseteq S_j$ если $\vee(S_i, S_j) \geq \lambda$, где λ - некоторое пороговое значение. Существование двух взаимных включений ситуаций S_i и S_j означает, что при пороговом включении λ ситуации S_i и S_j примерно одинаковы. Такое сходство ситуаций называется нечетким равенством.

Прежде всего необходимо обеспечить управление движением. Для этого используется лингвистическая переменная move (движение), которая определяется значением скорости движения. Она представлена тремя различными термами forwards (вперед), stop (останова), backwards(назад).

Основываясь на предыдущих формулах (1) необходимо построить пост ортогональные пространства. Терм forwards (вперед) определяется как нечеткое число с помощью функции принадлежности $\mu_{for\ var\ d}(v)$, которая задается соотношением:

$$\mu_{for\ var\ d}(v) = \begin{cases} \frac{v}{V1}, & 0 \leq v \leq V1 \\ 1, & V0 \leq v \leq V_{max} \end{cases}$$

Терм backwards (назад) определяется на нечеткое число с помощью функции принадлежности $\mu_{backwards}(v)$, которая задается соотношением:

$$\mu_{backwards}(v) = \begin{cases} \frac{v}{V1}, & 0 \leq v \leq -V1 \\ 1, & -V1 \leq v \leq -V_{max} \end{cases}$$

Терм stop (стоп) определяется на нечеткое число с помощью функции принадлежности $\mu_{stop}(v)$, которая задается соотношением (4).

$$\mu_{stop}(v) = \begin{cases} \frac{v+V1}{V1}, & -V1 \leq v \leq 0 \\ 1, & V=0 \\ \frac{V1-v}{V1}, & 0 \leq v \leq V1 \end{cases}$$

Постортогональное пространство переменной move представлено на рисунке 1.

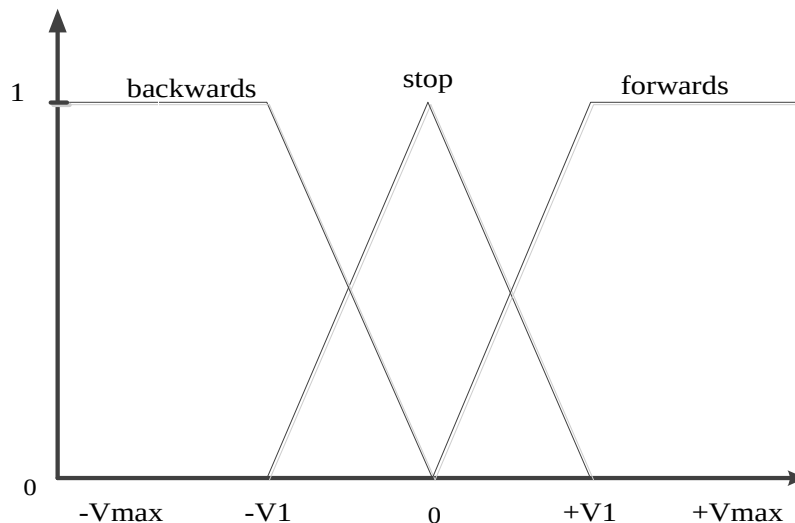


Рис. 1 – Постортогональное пространство множества переменной *move*

К процессу передвижения необходимо применить ещё одну лингвистическую переменную *turn*, которая отвечает за поворот тела. Описанная базовая переменная определяется относительным углом поворота в градусах. Переменная *turn* указывается 4 нечеткими ситуациями для переменных, каждая из которых указывает на объект, к которому должен повернуться NPC: *button*(кнопка), *door*(дверь), *ladder* (лестница), *exit*(выход). Функции этих переменных изменяются динамически, так как позиция этих объектов изменяется со временем.

Также предусмотрена лингвистическая переменная *look*, которая позволяет управлять углом наклона головы. В переменную *look* входят 2 терм-множества *up* (вверх), *down* (вниз), *pop* (не изменять).

Вышеперечисленные лингвистические переменные *door* и *ladder* являются переменными описывающими восприятия объекта.

Переменная *door* представлена термами *open*(открыта) *close*(закрыта) и *fully open* (полностью открыта). Переменная *button* представляет собой блок управляющих решений, значение которого имеет несколько состояний B_1 (закрыть полностью), B_2 (закрыть наполовину), B_3 (оставить), B_4 (открыть наполовину), B_5 (открыть полностью). Для каждого определённого состояния строится нечеткая ситуационная сеть (НСС). Нечеткая ситуационная сеть [15] представляет собой нечеткий ориентированный взвешенный граф переходов по нечетким эталонным ситуациям.

Лингвистическая переменная *ladder*, определена с помощью двух термов *held*(занятый) и *top*(вверх). Терм *held* определен во времени и имеет максимальное значение 1, через секунду как NPC коснется лестницы и возвращается в 0 с тот момент, когда через секунду NPC сойдет с лестницы. Терм *top* представлен переменной *height* (высота). Переменная принимает значение 1 в момент, когда NPC готов сойти с лестницы и значение 0, после того, как будет сделан шаг от верхней ступени лестницы.

Результаты исследования. Далее необходимо разработать набор правил для последовательного выполнения действий. Для того, чтобы NPC прошел через дверной проем вначале необходимо нажать на кнопку, а затем пройти через дверной проем. Правила подобной задачи описываются в следующей таблице.

При организации этой формы поведения необходимо обеспечить приоритет с обращением к нажатию кнопки, а после проходить через дверной проем.

Для того, чтобы NPC взобрался по лестнице необходимо сначала подойти к лестнице, схватиться за неё, затем поднять взгляд вверх и осуществлять движение в прямом направлении до тех пор, пока не будет достигнута вершина лестницы, после NPC необходимо направить взгляд вперед и сойти с лестницы на пол. Правила подобной задачи описываются следующим образом.

Таблица 1 – Правила задачи взаимодействие с дверьми

Условия	Действие
If not <i>button_pressed</i>	Повернуться в сторону кнопки, двинуться вперед
If <i>button_pressed</i>	Повернуться к двери
If <i>button_pressed</i> and <i>door</i> not fully open	Остановиться
If <i>door</i> fully open	Двинуться вперед, повернуться к двери



Таблица 2 – Правила задачи взаимодействие с лестницей

Условия	Действие
True	Двинуться вперед
If ladder is not held	Повернуться к лестнице
If ladder is held	Посмотреть вверх
If ladder is top	Посмотреть вверх, двигаться, повернуться к выходу

На основе представленных правил поведения можно описать ряд подобных ситуаций взаимодействия NPC с объектами окружающей среды. Основным преимуществом данной модели является задание нечетких ситуаций с помощью лингвистических переменных. Это обеспечивает простоту понимания условий на этапе разработки и создания модели более сложных ситуаций.

Список использованных источников

[1] Mat Buckland. Programming Game AI by Example. Jones & Bartlett Publishers, 1 edition, 2004. P. 36-70.
 [2] Ian Millington. Artificial Intelligence for Games (The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology).Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2006. P. 371-395.
 [3] Alan Turing. Computing machinery and intelligence. Mind LIX, 1950. P. 2.
 [4] Daniel Johnson and Janet Wiles. Computer games with intelligence. In In Procs. 10th IEEE Intl Conf. on Fuzzy Systems, IEEE, 2001. P. 61–68.
 [5] E. Hastings, R. Guha, and K. Stanley. Automatic content generation in the galactic arms race video game. In Proceedings of the 5th international conference on Computational Intelligence and Games,CIG'09, 2009. P. 5.
 [6] Lofti A. Zadeh. Fuzzy sets and systems. System Theory,1965.
 [7] Jiljang Wang Gabriyel Wong. A fuzzy-control approach to managing scene complexity. Game Programming Gems 6, 2006. P. 5-7.
 [8] Larry O'Brien. Fuzzy logic in games. Game Developer Magazine, 1996. P. 6-7.
 [9] Mason McCuskey. Fuzzy logic for video games. Game Programming Gems 1, 2000. P. 7-8.
 [10] Michael Zarozinski. Imploding combinatorial explosion in a fuzzy system. Game Programming Gems 2, 2001 P 342-350.
 [11] William E. Combs. The Fuzzy Systems Handbook 2nd Ed, Academic. 1999. P 48-50.
 [12] Penelope Sweetser and Janet Wiles. Current ai in games: a review. Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, 2002 P. 24-42.
 [13] Алекс Дж. Шампандар. Искусственный интеллект в компьютерных играх. Москва. «Вильямс», 2007 стр. 450-478.
 [14] Копытчук И. Н., Тишин П. М. Модели, методы и информационная технология повышения точности регистрации массы движущихся грузов в тензометрических системах. Одеса — 2016 стр.35-46.
 [15] (Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. //Телеком – 2007г. стр.218-230.

References

[1] Mat Buckland. Programming Game AI by Example. Jones & Bartlett Publishers, 1 edition. pp. 36-70, 2004.
 [2] Ian Millington. Artificial Intelligence for Games (The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology).Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA. pp. 371-395, 2006.
 [3] Alan Turing. Computing machinery and intelligence. Mind LIX. pp. 2, 1950.
 [4] Daniel Johnson and Janet Wiles. Computer games with intelligence. In In Procs. 10th IEEE Intl Conf. on Fuzzy Systems, IEEE. pp. 61–68, 2001.
 [5] E. Hastings, R. Guha, and K. Stanley. Automatic content generation in the galactic arms race video game. In Proceedings of the 5th international conference on Computational Intelligence and Games,CIG'09. pp. 5, 2009.
 [6] Lofti A. Zadeh. Fuzzy sets and systems. System Theory. 1965.
 [7] Jiljang Wang Gabriyel Wong. A fuzzy-control approach to managing scene complexity. Game Programming Gems 6. pp. 5-7, 2006.
 [8] Larry O'Brien. Fuzzy logic in games. Game Developer Magazine. pp. 6-7, 1996.
 [9] Mason McCuskey. Fuzzy logic for video games. Game Programming Gems. pp. 7-8, 2000.
 [10] Michael Zarozinski. Imploding combinatorial explosion in a fuzzy system. Game Programming Gems 2. pp. 342-350, 2001.
 [11] William E. Combs. The Fuzzy Systems Handbook 2nd Ed, Academic. pp. 48-50, 1999.
 [12] Penelope Sweetser and Janet Wiles. Current ai in games: a review. Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems. pp. 24-42, 2002.
 [13] Alex J. Champandar. Iskysstvennsy intellect v computernih igrakh. Moscwa. "Williams". pp. 450-478, 2007.



- [14] Kopytchuk I.N., Tishin P.M. Modeli, metody i informacionnaia tehnologia povishenia tochnosti registracii massi dvishuchihsia grysov v tenzometricheskikh sistemah. Odessa. pp. 35-46, 2016.
[15] Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli I seti. Telecom. pp. 218-230, 2007.

УДК 621.867.2

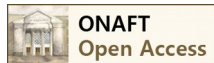
РОЛИКОВИЙ ВУЗОЛ СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Сандлер А.К.¹, Дрозд О.В.²

^{1,2} – Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, Україна

E-mail: ¹albertsand4@gmail.com, ²ELENADROZD912@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.1237](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237)

Анотація: Розглянуті відомі конструкції роликів опор стрічкових транспортерів, як елементу вантажної системи судна. Визначені недоліки та шляхи вдосконалення. Запропоновано нове схематичне рішення роликів опор.

Summary: Considered known designs of roller bearings of belt conveyors, as an element of the ship's cargo system. Deficiencies and ways to improve. A new circuit design of roller support is proposed.

Ключові слова: судновий стрічковий конвеєр, стрічка, ролик, експлуатація, ремонт, обслуговування.

Keywords: ship conveyor belt, belt, roller, operation, repair, service.

1. Вступ

Багаторічний досвід експлуатації транспортерів підтверджує головні до-стоїнства конвеєрного транспорту - високий рівень продуктивності праці, що досягається шляхом автоматизації роботи устаткування, можливість транспортування вантажу на великі відстані і низькі виробничі витрати. Вони є одним з основних засобів безперервного дільничного і магістрального транспорту в морських портах, на вугільних шахтах, розрізах і рудниках. Застосування стрічкових транспортерів постійно зростає в зв'язку з ростом вантажопотоків і відстаней транспортування, що зумовило необхідність створення високопродуктивних стрічкових транспортерів більшої довжини і потужності (рис. 1).

Досить високі капітальні витрати на придбання транспортерів компенсуються низькими експлуатаційними витратами. Собівартість одиниці вантажу, що перевозиться стрічковими транспортерами нижче, ніж у інших транспортних засобів, що застосовуються для перевезень вантажу на ту ж відстань.



Рис. 1 – Найпоширеніший тип стрічкового транспортеру

2. Аналіз літературних джерел і постановка питання

Практика використання традиційних стрічкових транспортерів різноманітного призначення, виконання і типорозмірів показує, що всім без виключення, пристроям притаманний невикорінний принциповий недолік - знос роликів і зміщенням стрічки. Періодичні підйоми і опускання ділянок стрічки та лежачого на ній вантажу призводять до появи динамічних навантажень, ще більшого зниження терміну служби стрічки і роликів, а також суттєвого зростання енергоємності процесу транспортування. Ці процеси призводять до передчасного виходу стрічки з ладу, зсуву вантажу, дроблення, пилення і втрати його якості при транспортуванні [1].

Для пошуку шляхів підвищення терміну служби стрічки і роликів проаналізовані конструкції найпоширеніших роликів вузлів стрічкових транспортерів [2 - 4].

Відомий роликів вузол, що містить основу та ролик з підшипниками ковзання [2].

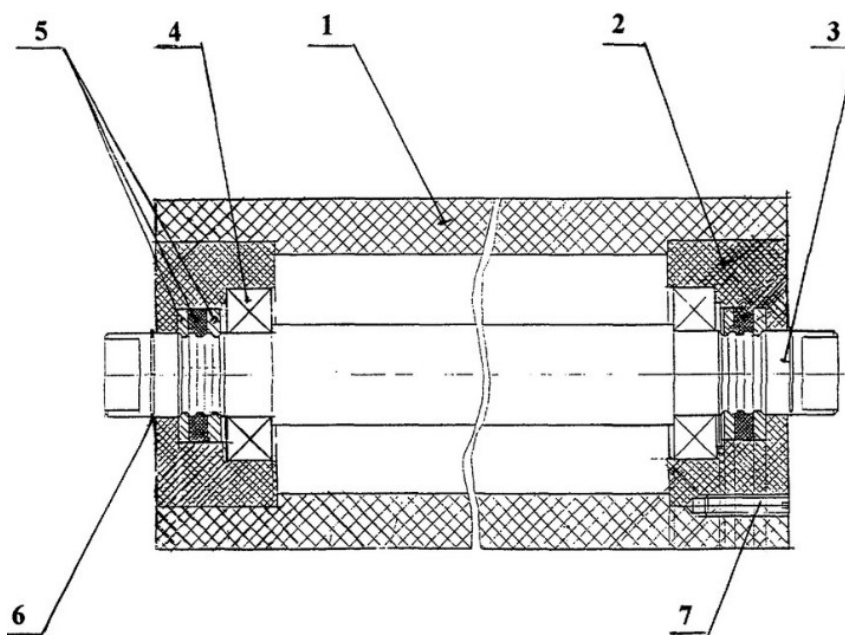


Рис. 2 – Ролик з підшипником ковзання: 1 – корпус; 2 – стакани; 3 – вісь ролика; 4 – підшипники ковзання; 5 – ущільнювальні кільця; 6 – стопорні кільця; 7 – штифти.



Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням сталевого ролика та підшипників ковзання:

- необхідність постійного оновлення змащувального матеріалу підшипника;
- незахищеність роликового вузла від динамічних ударів вантажу на стрічці та експлуатаційних факторів;
- значні витрати на ремонтні роботи.

У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики роликового вузла, що містить основу та ролики з підшипниками кочення [3].

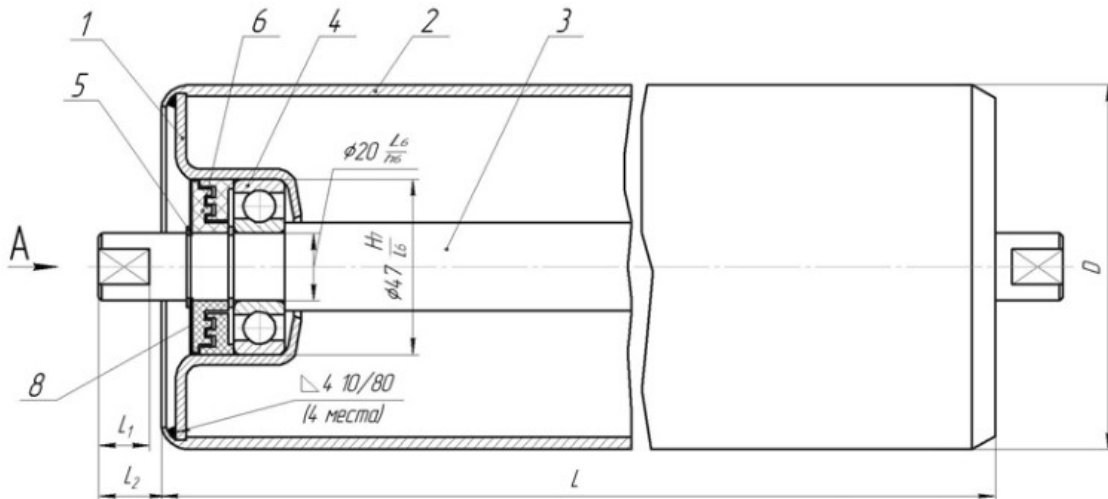


Рис. 3 – Ролик з підшипником кочення: 1 – обойма; 2 – корпус; 3 – вісь ролика; 4 – підшипники кочення; 5 – стопорне кільце; 6-8 – ущільнювальні кільця.

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням відкритого сталевого ролика та підшипників кочення:

- незахищеність роликового вузла від динамічних ударів вантажу на стрічці та експлуатаційних факторів;
- неможливість транспортування вантажу у вигляді великих фрагментів;
- значні витрати на ремонтні роботи.

3. Мета і задачі дослідження

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення роликового вузла. Передбачалося, що конструктивне виконання повинне забезпечити пристрою:

- можливість застосовування у транспортерах для транспортування великих фрагментів вантажу;
- присутність демпфірування динамічних ударів вантажу по роликах;
- підвищену зносостійкість самих роликів;
- зниження експлуатаційних та ремонтних витрат;
- збереження простоти схемотехнічних рішень роликів вузлів відомих типів.

4. Основні пункти та результати дослідження

Суть схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 3).

Шліцьова втулка запресована до основи і взаємодіє з торсіонним валом завдяки відповідним шліцям на ньому.

При надходженні ділянки транспортерної стрічки з вантажем до відповідного ролика динамічне навантаження з ролика крізь стойки передається до торсіонного валу. Під впливом навантаження відбувається деформація кручення валу. Завдяки пружним деформаціям валу відбувається гасіння та демпфірування коливань транспортеру [5].

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію механічних елементів.

У першому динамічному режимі (транспортування вантажу у вигляді малих фрагментів) демпфірування динамічних навантажень на основу та підшипники роликового вузла відбувається за рахунок пружних деформацій торсіонного валу. Зниження зносу транспортерної стрічки відбувається за рахунок використання армованого гумового чохла ролика.

У другому динамічному режимі (транспортування вантажу у вигляді великих фрагментів) демпфірування динамічних навантажень на основу та підшипники роликового вузла відбувається за рахунок пружних деформацій як торсіонного валу так і дії гумових амортизаторів. Зниження зносу транспортерної стрічки відбувається за рахунок використання армованого гумового чохла ролика.

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що ролик з підшипниками закріплений на стойках, з'єднаних з торсіонним валом, який зафіксований у шліцьовій втулці основи, ролик вкрито роз'ємним армованим гумовим чохлом, а стойки мають гумові амортизатори [5, 6, 7].

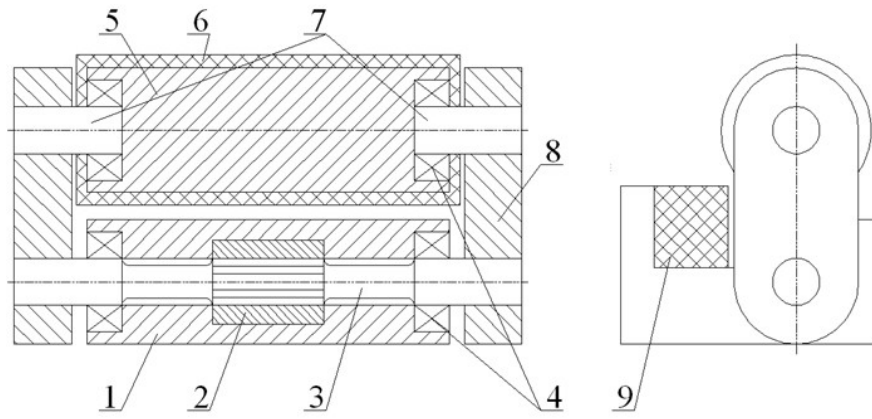


Рис. 4 – Роликовий вузол стрічкового транспортера: 1 – основа; 2 – шліцьова втулка; 3 – торсіонний вал; 4 – підшипники кочення; 5 – ролик; 6 – армований гумовий чохол; 7 – вісь ролика; 8 – стойка; 9 – гумовий амортизатор.

5. Висновки

Таким чином, в розробленому вузлу комбінація пружних елементів та підшипників забезпечує:

- підвищення продуктивності транспортерів;
- можливість транспортування великих фрагментів матеріалів;
- відсутність зсуву транспортерної стрічки;
- демпфірування динамічних навантажень на роликовий вузол;
- підвищення терміну служби роликових вузлів та транспортерної стрічки;
- зниження експлуатаційних та ремонтних витрат.

Застосування запропонованої моделі роликового вузла, крім того, дозволить підвищити безпеку і ефективність вантажних технологічних процесів при роботі з широким спектром вантажів.

Список використаних джерел

- [1] Івченко, В.Н. Куров, С.В. [Беспросыпные ленточные конвейеры](#).// Горная Промышленность. – 2005. – № 4.
- [2] Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н, Гнутов, В. К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю. А. Пертена. – Л.; Машиностроение, 1984. – 367 с.
- [3] Зелинский, О.В., Петров А.С. Справочник по проектированию ленточных конвейеров. – М.: Машиностроение, 1986. – 500 с.
- [4] Чобиток, В.М. Ходовая часть танков. Подвеска. //Техника и Вооружение. – 2005. – №11.
- [5] Сергеев, Л.В. Теория танка. – М.: Военная ордена Ленина Краснознаменная академия бронетанковых войск им. маршала Малиновского, 1973. – 490 с.
- [6] Лобанов, Н.В. Моделирование торсионной подвески гусеничных транспортных средств.// Вестник РГРТУ. – 2008. – вып. 23.
- [7] Сандлер, А.К., Дрозд, О.В. Роликовий вузол стрічкового транспортера. Деклараційний патент України № 118311. МПК (2017.01) G 01G 11/10 (2006.01), G01G 21/06 (2006.01), B65G 39/00 – заявл. 03.05.2017. // Опубл. 25.07.2017, бюл. № 14/2017.

References

- [1] Ivchenko, V.N. Kurov, S.V. [Besprosyynnye lentochnyye konveyery](#).// Gor-naya Promyshlennost'. – 2005. – № 4.
- [2] 2. Konveyery: Spravochnik / R. A. Volkov, A. N, Gnutov, V. K. D'yachkov i dr. Pod obshch. red. YU. A. Pertena. – L.; Mashinostroyeniye, 1984. – 367 s.
- [3] 3. Zelinskiy, O.V., Petrov A.S. Spravochnik po proyektirovaniyu lentoch-nykh konveyerov. – M.: Mashinostroyeniye, 1986. – 500 s.
- [4] 4. Chobitok, V.M. Khodovaya chast' tankov. Podveska. //Tekhnika i Vooruzhe-niye. – 2005. – №11.
- [5] 5. Sergeyeve, L.V. Teoriya tanka. – M.: Voyennaya ordena Lenina Krasnoznamen-naya akademiya bronetankovykh voysk im. marshala Malinovskogo, 1973. – 490 s.
- [6] 6. Lobanov, N.V. Modelirovaniye torsionnoy podveski gusenichnykh transportnykh sredstv.// Vestnik RGRTU. – 2008. – вып. 23.
- [7] 7. Sandler, A.K., Drozd, O.V. Rolikovyiy vuzol strichkovogo transportera. Deklaratsiyinyi patent Ukraini № 118311. MPK (2017.01) G 01G 11/10 (2006.01), G01G 21/06 (2006.01), B65G 39/00 – zayavl. 03.05.2017. // Opubl. 25.07.2017, byul. № 14/2017.