



Издается
с января 2004 г.

Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт научно-технический журнал

ISSN 2500-0586

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)
ПИ № ФС77-64543 от 22 января 2016 г.

Главный редактор журнала

В. И. Лысак – чл.-корр. РАН,
д-р техн. наук, профессор,
ректор университета

Редакционная коллегия:

И. И. **Артюхов** – д.т.н., проф. СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
А. В. Баранов – д.ф.-м. н., проф.,
РГУ нефти и газа, г. Москва.
А. Б. Голованчиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
А. Е. Городецкий – д.т.н., проф., ИПМаш
РАН, г. Санкт-Петербург
А. П. Дарманиян – д.т.н., проф. ВГАУ,
г. Волгоград
А. М. Иванов – д. т. н., проф.,
МГТУ (МАДИ), г. Москва
В. В. Коротаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
О. Г. Котиев – д. т. н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д. т. н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д. т. н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д. т. н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. В. Навроцкий – д.х.н., проф., ВолгГТУ
А. А. Ревин – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СГАУ
им. академика С. П. Королева, г. Самара
О. А. Тишин – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Е. А. Федянов – д.т.н., проф., ВолгГТУ
В. М. Шаповалов – д.т.н., проф. ВолгГТУ;
В. М. Шарипов – д.т.н., проф., МГТУ
(МАМИ), г. Москва
А. Н. Шилин – д.т.н., проф., ВолгГТУ

Ответственный секретарь
Ю. В. Аристова – доц., к.т.н.

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
94193(ОК+ЭК). По вопросам
подписки обращаться
в издательство.

Тел. издательства ВолгГТУ:
+7 (8442) 24-84-06,
fax: +7 (8442) 24-84-06,
e-mail: otr@vstu.ru

№ 2 (14)
Июль
2016

УЧРЕДИТЕЛЬ:

**ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический
университет»**

Периодичность: четыре раза в год

Адрес редакции:

РФ, 400005, Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28
Гл. редактор: телефон: – (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: – (8442) 24-81-05
e-mail: pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

**Авторское право на журнал в целом принадлежит
Учредителю, на отдельные статьи – сохраняется за авторами**

*Перепечатка из журнала «Энерго- и ресурсосбережение:
промышленность и транспорт» категорически запрещена без
оформления договора в соответствии с действующим
законодательством РФ*

*При перепечатке материалов ссылка на журнал «Энерго-
и ресурсосбережение: промышленность и транспорт» обязательна*

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

Energo- i resursosberezhenie: Promyshlennost' i transport (Energy and Resource Saving: Industry and Transport) science-technical journal

ISSN 2500-0586

Journal is registered in the Federal Service for supervision
of communications, information technology and mass media
(Roscomnadzor) registration certificate:
ПН .N° (ФЦ77-64543, registration date: 22 January 2016

Editor-in-chief

V. I. Lysak – Corresponding
Member of RAS, D. Sc. (Technical),
Professor,
Rector of VSTU

Editorial Board:

I. I. Artuchov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU., Saratov
A. V. Baranov – D. Sc. (Physical and Math.),
Prof., Gubkin University, Moscow.
A. B. Golovanchikov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. E. Gorodetskij – D. Sc. (Engineering),
Prof., IPME, St. Petersburg
A. P. Darmanyan – D. Sc. (Engineering),
Prof. VSAU, Volgograd
A. M. Ivanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
MADI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St. Petersburg
O. G. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU., Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. V. Navrotsky – D. Sc. (Chemistry), Prof.,
VSTU, Volgograd
A. A. Revin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
O. A. Tishin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
V. M. Shapovalov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
V. M. Sharipov – D. Sc. (Engineering),
Prof., UMeCh, Moscow
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd

Executive Secretary

Yu. V. Arisova – PhD, Associate Prof.

The journal is distributed by subscription.

Index of the journal in the catalogue
of the Agency «Rospechat» for the Russian
Federation – 94193(OK+OK).

Concerning subscription turn to the editorial
office.

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-06,

fax: +7 (8442) 24-84-06,

e-mail: otr@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,

«Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport », 2016

**№ 2 (14)
July
2016**

FOUNDER:

**Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Volgograd State Technical University»**

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

Russia, 400005, Volgograd, Lenin avenue, 28. Editor-In-Chief:
tel.: +7 (8442) 23-00-76 e-mail: rector @vstu.ru

Executive Secretary: +7 (8442) 24-81-05 e-mail:
pahp@vstu.ru

Official website: www.vstu.ru

Published by the decision of editorial review board of Volgograd State
Technical University

***The copyright for the journal in general belongs to the Founder, for separate
articles – retained by the authors.***

*Reprint from the journal « Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i
transport » is strongly forbidden -without conclusion of an agreement in accordance
with the current legislation of the Russia Federation.*

*When reprint the materials, the citation to the journal «Energo-
i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport» is obligatory*

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Арванитаки Н. В. 35 | Пастухов Ю. В. 29 |
| Атращенко О. С. 40 | Проскуряков С. С. 43 |
| Ворсина Т. Л. 15 | Прохоренко Н. А. 15, 19, 24 |
| Голованчиков А. Б. 11, 19, 24 | Русакова Г. Г. 7 |
| Демьянов А. В. 7 | Русакова М. М. 7 |
| Дулькина Н. А. 19 | Сухоручкина Т. Ю. 40 |
| Коптелова И. А. 35 | Тарамова Г. С. 15 |
| Лепёхин Г. И. 15 | Токарь С. В. 50 |
| Лучковский Д. В. 7 | Хоперскова Л. В. 48 |
| Мазина Л. В. 7 | Чёрикова К. В. 11 |
| Мишта Е. А. 15 | Шагарова А. А. 24 |
| Нефедьев А. И. 50 | Шилин А. Н. 43 |
| Парахневич Д. В. 7 | Шульгина А. Г. 11 |
| Парахневич Е. Д. 7 | |

AUTHOR INDEX

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Arvanitaki N. V. 35 | Parakhnevich E. D. 7 |
| Atrasenko O. S. 40 | Pastukhov Yu. V. 29 |
| Chyorikova K. V. 11 | Prokhorenko N. A. 15, 19, 24 |
| Demyanov A. V. 7 | Proskurjakov S. S. 43 |
| Dulcina N. A. 19 | Rusakova G. G. 7 |
| Golovanchikov A. B. 11, 19, 24 | Rusakova M. M. 7 |
| Hoperskova L. V. 48 | Shagarova A. A. 24 |
| Koptelova I. A. 35 | Shilin A. N. 43 |
| Lepyokhin G. I. 15 | Shulgina A. G. 11 |
| Luchkovskij D. V. 7 | Suhoruchkin T. Y. 40 |
| Masina L. V. 7 | Taramova G. S. 15 |
| Mishta E. A. 15 | Tokar S. V. 50 |
| Nefed'ev A. I. 50 | Vorsina T. L. 15 |
| Parakhnevich D. B. 7 | |

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Русакова Г. Г., Демьянов А. В., Парахневич Д. В., Парахневич Е. Д., Русакова М. М., Мазина Л. В., Лучковский Д. В.</i>	
Нетрадиционная технология переработки семян горчицы.....	7
<i>Голованчиков А. Б., Черикова К. В., Шульгина А. Г.</i>	
Моделирование процесса перемешивания в аппаратах с комбинированными мешалками.....	11
<i>Лепёхин Г. И., Ворсина Т. Л., Тарамова Г. С., Мишта Е. А., Прохоренко Н. А.</i>	
Конструкции номограмм для определения гидродинамических и тепловых параметров работы центробежных дисков.....	15
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Дулькина Н. А.</i>	
Моделирование процесса ректификации в исчерпывающей части насадочной колонны с диффузионной структурой потока по жидкой фазе.....	19
<i>Голованчиков А. Б., Шагарова А. А., Прохоренко Н. А.</i>	
Экспериментальные исследования механических воздействий на работу загрузочных бункеров.....	24
<i>Пастухов Ю. В.</i>	
Ядерно-физические методы в инфраструктуре нефтехимического и газоперерабатывающего комплекса (обзорная статья).....	29
<i>Коптелова И. А., Арванитакис Н. В.</i>	
Теория принятия решений в задачах повышения энергоэффективности систем энергоснабжения.....	35
<i>Сухоручкина Т. Ю., Атращенко О. С.</i>	
Проблемы развития возобновляемых источников энергетики в России.....	40
<i>Шилин А. Н., Проскуряков С. С.</i>	
Сравнение топологических методов расчета надежности электрических сетей.....	43
<i>Хоперскова Л. В.</i>	
К вопросу о модели электрического пробоя синтетического жидкого диэлектрика – ди(октафторпентилового) эфира.....	48
<i>Токарь С. В., Нефедьев А. И.</i>	
Система управления головным освещением автомобиля.....	50

CONTENTS

<i>Rusakova G. G., Demyanov A. V., Parakhnevich D. B., Parakhnevich E. D., Rusakova M. M., Masina L. V., Luchkovskij D. V.</i>	
THE TECHNOLOGY OF MUSTARD SEED PROCESSING.....	7
<i>Golovanchikov A. B., Chyrikova K. V., Shulgina A. G.</i>	
MODELING THE MIXING PROCESS IN THE APPARATUS WITH COMBINED AGITATORS.....	11
<i>Lepyokhin G. I., Vorsina T. L., Taramova G. S., Mishta E. A., Prokhorenko N. A.</i>	
DESIGNS OF NOMOGRAMS FOR DETERMINATION OF HYDRODYNAMIC AND THERMAL PARAMETERS OF WORK OF CENTRIFUGAL DISKS.....	15
<i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Dulkina N. A.</i>	
MODELING OF PROCESS OF RECTIFICATION IN THE EXHAUSTIVE PART OF THE PACKED COLUMN WITH DIFFUSION FLOW STRUCTURE IN THE LIQUID PHASE.....	19
<i>Golovanchikov A. B., Shagarova A. A., Prokhorenko N. A.</i>	
EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL EFFECTS ON HOPPER'S WORK.....	24
<i>Pastukhov Yu. V.</i>	
NUCLEAR AND PHYSICAL METHODS IN INFRASTRUCTURE PETROCHEMICAL AND GAS PROCESSING PLANT.....	29
<i>Koptelova I. A., Arvanitaki N. V.</i>	
THEORY OF DECISION-MAKING TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS.....	35
<i>Suhoruchkin T. Y., Atrasenko O. S.</i>	
PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY IN RUSSIA..	40
<i>Shilin A. N., Proskurjakov S. S.</i>	
COMPARISON OF TOPOLOGICAL METHODS OF CALCULATING THE RELIABILITY OF POWER GRID.....	43
<i>Hoperskova L. V.</i>	
TO THE QUESTION ABOUT THE MODEL OF ELECTRICAL BREAKDOWN OF SYNTHETIC LIQUID DIELECTRIC – DI (OKTAFTORPENTILOVOGO) ETHER.....	48
<i>Tokar S. V., Nefed'ev A. I.</i>	
CONTROL SYSTEM OF HEAD LIGHT OF CAR.....	50

Г. Г. Русакова, А. В. Демьянов, Д. В. Парахневич, Е. Д. Парахневич,
М. М. Русакова, Л. В. Мазина, Д. В. Лучковский

НЕТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЕМЯН ГОРЧИЦЫ

Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены технологические аспекты переработки семян горчицы на сегодняшний день и приводятся недостатки существующего метода. Предлагается технология извлечения из семян горчицы антипитательного вещества – синигрина. Особое внимание уделено конструктивному оформлению блока экстракции синигрина из семян горчицы.

Ключевые слова: семена горчицы, синигрин, экстракция.

G. G. Rusakova, A. V. Demyanov, D. V. Parakhnevich, E. D. Parakhnevich,
M. M. Rusakova, L. V. Masina, D. V. Luchkovskij

THE TECHNOLOGY OF MUSTARD SEED PROCESSING

Volgograd State Technical University

It is written in article the technological aspects of mustard seed processing for now and the defects of this method. The authors offer the technology of antinutritious substance – the sinigrin extraction of mustard seed. The separate attention is devoted to construction of the sinigrin extraction of mustard seed stage.

Keywords: of mustard seed, sinigrin, extraction.

Традиционно из семян горчицы прессованием получают пищевое масло и жмых с последующей переработкой его в порошок [1].

При выработке из семян горчицы пищевого масла и горчичного порошка образуются следующие побочные продукты: жмых, высевки и шелуха.

Принятая схема переработки семян горчицы не предусматривает выделения из них антипи-

тательного вещества – синигрина – с последующим получением из него эфирного масла.

Для более глубокой переработки семян нами разработана технология переработки семян горчицы с выделением из них синигрина [2] с возможным последующим получением из него аллилгорчичного масла (рис. 1), обладающего антисептическими, фитонцидными, фунгицидными и другими свойствами [3, 4].

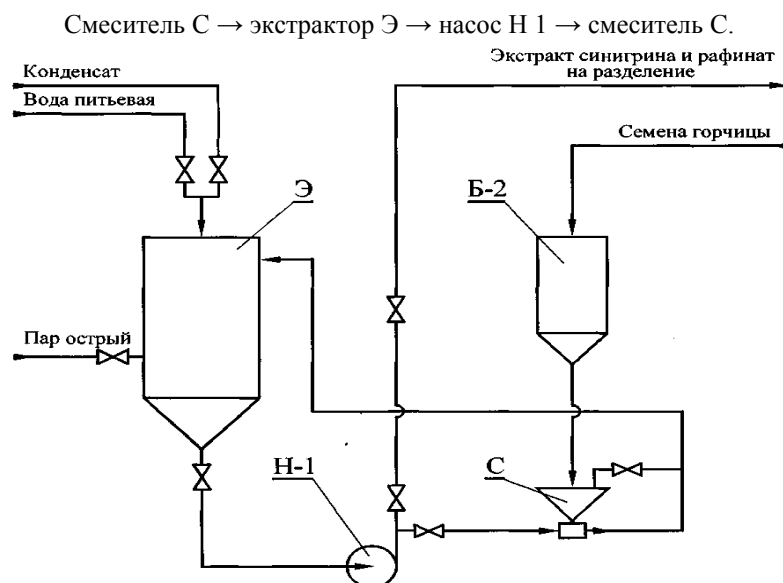


Рис. 1. Стадия экстракции: Б 2 – бункер; С – струйный смеситель; Н-1 – насос; Э – экстрактор

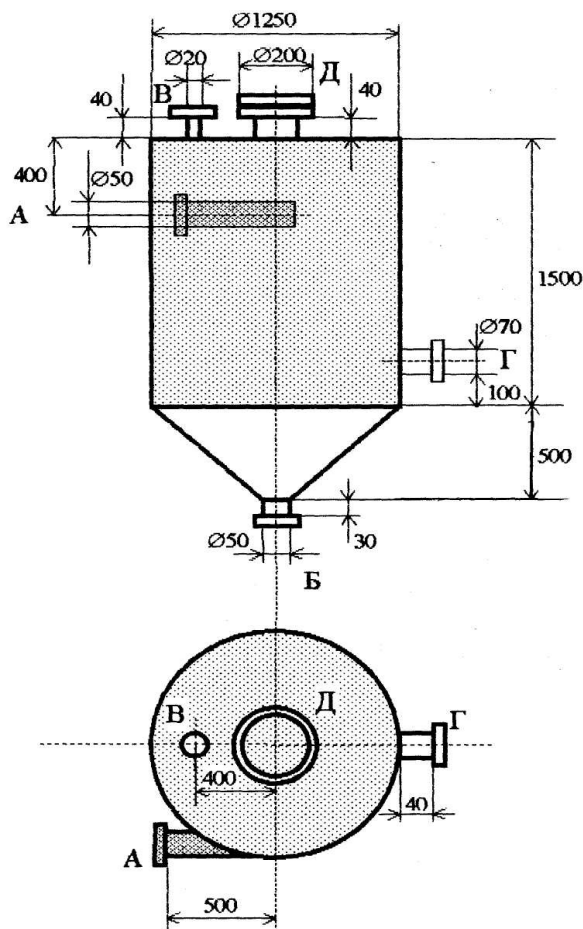


Рис. 3. Экстрактор Э

– при многоступенчатом перекрестном экстрагировании;

– при противоточном экстрагировании.

Рассчитана высота и диаметр противоточного насадочного экстрактора.

Расход экстрагента для одноступенчатого экстрагирования определяется по формуле материального баланса для распределяемого вещества [8]:

$$G_s = G_f \cdot (X_f - X_R) / (Y_e - Y_s), \quad (1)$$

где G_f – расход исходной смеси; X_f – концентрация распределяемого компонента в исходной смеси; X_R – концентрация распределяемого компонента в рафинате; Y_e – концентрация распределяемого компонента в экстракте; Y_s – концентрация распределяемого компонента в экстрагенте.

Состояние равновесия определяется равенством химических потенциалов распределяемого вещества в обеих фазах. Количественно равновесие характеризуют отношением равновесных концентраций распределяемого вещества в фазах, или коэффициентом распределения:

$$k = Y^* / X, \quad (2)$$

где Y^* и X – равновесные концентрации распределяемого вещества в экстракте и рафинате [9].

При многоступенчатом экстрагировании уравнение материального баланса по n -ступени экстрагирования выглядит следующим образом:

$$G_{R,n-1} + G_{S,n} = G_{R,n} + G_{E,n} \quad (3)$$

Часто расход экстрагента для многоступенчатого перекрестного экстрагирования принимается в 10 раз меньше, по сравнению с рассчитанной для одноступенчатого экстрагирования. Затем рассчитывается число ступеней «к», обеспечивающих заданную конечную концентрацию X_r .

Минимальный расход экстрагента при противоточном экстрагировании рассчитывается по формуле [8]:

$$G_{sm} = G_f \cdot (X_f - X_R) / (Y_{pf} - Y_s), \quad (4)$$

где Y_{pf} – равновесная концентрация распределяемого компонента в исходной смеси.

Высота насадки эквивалентная одной теоретической тарелке, рассчитывается по формуле:

$$h_2 = [(1,6 \cdot 10^8 \cdot d_K^2 \mu_c (G_f / G_s)^{0,5}) / g (\rho_c - \rho_d) \cdot [\ln(G_f / G_s \cdot z) / (1 - (G_s \cdot z / G_f))], \quad (5)$$

где d_K – наружный диаметр колец Рашига; G – средний градиент концентраций равновесной линии.

Высота насадки, эквивалентная одной единице переноса, рассчитывается по формуле:

$$h_1 = 1,6 \cdot 10^8 \cdot d_K^2 \mu_c (G_f / G_s)^{0,5} / g (\rho_c - \rho_d) \quad (6)$$

Расчеты экстрактора для удаления синигрина из семян горчицы были проведены по исходным данным, приведенным в табл. 1.

В табл. 2 представлены результаты расчетов расхода экстрагента и параметров противоточного экстрактора.

1. Для извлечения синигрина концентрацией 5,14 кг/м³ из семян горчицы необходим следующий расход экстрагента (воды):

– при одноступенчатом экстрагировании 32,043 м³/час;

– при многоступенчатом перекрестном экстрагировании 1,602 м³/час;

– при противоточном экстрагировании 1,15 м³/час.

Таким образом, целесообразнее использовать противоточное экстрагирование, где расход экстрагента меньше, чем при одноступенчатом экстрагировании в 27 раз и на 30 %, чем при перекрестном экстрагировании.

Таблица 1

**Исходные и справочные данные для расчета экстрактора непрерывного действия
по удалению синигрина из семян горчицы**

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина параметра
1. Производительность по исходному раствору (горчичному жмыху)	м ³ /час	G_f	0,96
2. Концентрация извлекаемого компонента (синигрина) в жмыхе	кг/м ³	x_f	5,14
3. Концентрация извлекаемого компонента в рафинате	кг/м ³	x_r	0,154
4. Концентрация извлекаемого компонента в экстрагенте	кг/м ³	y_s	0
5. Массив равновесных концентраций извлекаемого компонента в экстракте	кг/м ³	y^*	см. программу
6. Равномерный интервал разбиения по концентрации извлекаемого компонента в жмыхе	кг/м ³	Δx	0,5
7. Порозность насадки – колец Рашига	м ³ /м ³	ε	0,2
8. Удельная поверхность насадки – колец Рашига	м ² /м ³	σ	140
9. Динамическая вязкость сплошной фазы	Пас	μ	0,01195
10. Наружный диаметр колец Рашига	м	d_k	0,007

Таблица 2

Результаты расчетов основных параметров экстрактора при очистке семян горчицы от синигрина

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина параметра
1. Концентрация извлекаемого компонента в экстракте при одноступенчатом экстрагировании	кг/м ³	Y_E	0,149
2. Расход экстрагента при одноступенчатом экстрагировании	м ³ /час	G_S	32,043
3. Расход экстрагента при многоступенчатом перекрестном экстрагировании	м ³ /час	G_{SI}	1,602
4. Номер ступени экстрагирования	—	k	1 2 3 4
5. Конечная концентрация в рафинате извлекаемого компонента на каждой ступени перекрестного экстрагирования	кг/м ³	X_k	1,968 0,753 0,288 0,110
6. Конечная концентрация в экстракте извлекаемого компонента на каждой ступени перекрестного экстрагирования	кг/м ³	Y	1,905 0,729 0,279 0,107
7. Равновесная концентрация в экстракте извлекаемого компонента, соответствующая его начальной концентрации в жмыхе	кг/м ³	Y_{pf}	4,986
8. Минимальный расход экстрагента в противоточном экстракторе	м ³ /час	G_{Sm}	0,960
9. Рабочий расход экстрагента в противоточном экстракторе	м ³ /час	G_S	1,15
10. Рабочая концентрация извлекаемого компонента в экстракторе при противоточном экстрагировании	кг/м ³	Y_E	4,155
11. Число теоретических тарелок при противоточном экстрагировании	—	s	11,282
12. Вспомогательный параметр для расчета скорости захлебывания	—	α	7,248
13. Скорость захлебывания	м/с	W_3	0,00093
14. Фиктивная рабочая скорость сплошной фазы – сточной воды	м/с	W_c	0,00073
15. Расчетный диаметр колонного экстрактора	м ²	D_a	0,68
16. Среднее значение тангенса угла наклона равновесной линии	—	z	0,97
17. Высота насадки, эквивалентная одной теоретической тарелке	м	h_2	0,204

Окончание табл. 2

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина параметра
18. Высота насадки в экстракторе, рассчитанная через число теоретических тарелок	м	H_m	2,301
19. Высота насадки, эквивалентная одной единице переноса	м	h_1	0,220
20. Число единиц переноса	—	s_1	10,459
21. Высота насадки в экстракторе, рассчитанная через число единиц переноса	м	H_e	2,30

2. Для проведения экстракции необходим противоточный полый экстрактор следующих размеров:

– расчетный диаметр 0,68 м. В соответствии со стандартными значениями промышленных трубопроводов выбираем значение диаметра равное 0,6 м [9].

– объем экстрактора равен 2,58 м³.

– насадкой в экстракторе являются семена горчицы, из которых извлекают синигрин.

Поэтому целесообразнее применять конструктивный блок по извлечению синигрина из семян горчицы: струйный смеситель – экстрактор. Этот конструктивный блок создает условия для совмещенного осуществления двух процессов: противотока и перекрестного тока, в результате которых наблюдается высокая скорость перемешивания исходной смеси и экстрагента, что позволяет эффективно извлекать синигрин за короткий промежуток времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров. – Л., ВНИИЖ. – 1975. – Т. 1, кн. 1. – С. 568–584.

2. Пат. 2340660 Российская Федерация МПК C11B13/00. Способ утилизации отходов горчично-маслобояного производства / Русакова Г. Г., Демьянов А. В.; № 2007115492 заявл. 24.04.07 г., опубл. 10.12.08, Бюл. № 34. – 5 с.

3. Зелепуха, С. И. Антимикробные свойства растений употребляемых в пищу / С. И. Зелепуха. – Киев: Наукова Думка, 1973. – С. 90–92.

4. Шемякин, М. М. Химия антибиотиков / М. М. Шемякин [и др.]. – М., т. 1–2. – 1961.

5. Русакова, Г. Г. Технология нетрадиционной переработки маслосемян горчицы: монография / Г. Г. Русакова, Е. А. Свириденко, А. В. Демьянов. – Волгоград, 2008. – 96 с.

6. Русакова, Г. Г. Технологические процессы утилизации токсичных отходов горчично-маслобояного производства: монография / Г. Г. Русакова, В. А. Хомутов, В. М. Рыжков, Е. А. Свириденко, В. А. Сороколетов, С. Н. Муромцев, Л. В. Хорошевская, А. М. Лагутин, А. Е. Мерлин, М. М. Русакова. – Волгоград, 2008. – 178 с.

7. Русакова, Г. Г. Полножирная горчица. ТУ 10 РФ 10-023 / Г. Г. Русакова, Л. Х. Бурденко. – Волгоград: ОАО ВМЭЗ «Сарепта», 1998. – 14 с.

8. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии: учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов // ВолгГТУ. – Волгоград, 1997. – Ч. 4. – 118 с.

9. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / А. Г. Касаткин. – 8-е изд., перераб. – М.: Химия, 1971. – 784 с.

УДК 66.063

А. Б. Голованчиков, К. В. Черикова, А. Г. Шульгина **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ** **В АППАРАТАХ С КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕШАЛКАМИ** **Волгоградский государственный технический университет**

Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости числа оборотов тихоходной рамной мешалки от числа оборотов быстроходной пропеллерной мешалки, когда крутящий момент к тихоходной мешалке от вала быстроходной мешалки передается через гидромуфту. Проведен корреляционный анализ полученной зависимости, позволивший оценить адекватность полученной математической модели по методу наименьших квадратов и методу наименьших относительных квадратов.

Ключевые слова: перемешивание, раствор, суспензия, корреляция, комбинированная мешалка, скорость вращения.

A. B. Golovanchikov, K. V. Chyrikova, A. G. Shulgina **MODELING THE MIXING PROCESS** **IN THE APPARATUS WITH COMBINED AGITATORS** **Volgograd State Technical University**

The experimental results depending on speed low-speed frame agitator of the speed of high-speed propeller stirrer, when the torque to the low speed shaft of a high-speed mixer from the mixer is passed through a fluid coupling. The correlation analysis of the dependence obtained, which allowed to assess the adequacy of the mathematical model obtained by the method of least squares and the method of least squares relative

Keywords: mixing, solution, suspension, correlation, combined mixed, rotational speed.

В объеме аппарата можно выделить две зоны: центральную зону быстроходной мешалки, в которой происходит интенсивное перемешивание, и периферийную зону циркуляции, в которой перемешивание является слабым и жидкость течет с меньшими скоростями. Существующие конструкции традиционных мешалок не позволяют устранить этот недостаток. С целью увеличения интенсивности и эффективности перемешивания высоковязких неньютоновских жидкостей, растворов, эмульсий и суспензий по всей высоте аппарата предлагается использовать конструкции комбинированных смесителей.

Сравнение работы комбинированного смесителя с работой обычной быстроходной мешалки является целью данного экспериментального исследования.

Эксперимент проводился на перемешивающем устройстве ES-8300D, имеющим несколько сменных валов, одним из них был вал с быстроходной пропеллерной мешалкой.

В эксперименте использовалась комбинированная мешалка, показанная на рис. 1. В качестве рабочих жидкостей использовались: вода и веретенное масло АУ, практически не смешиваемые жидкости, в соотношении 6:1.

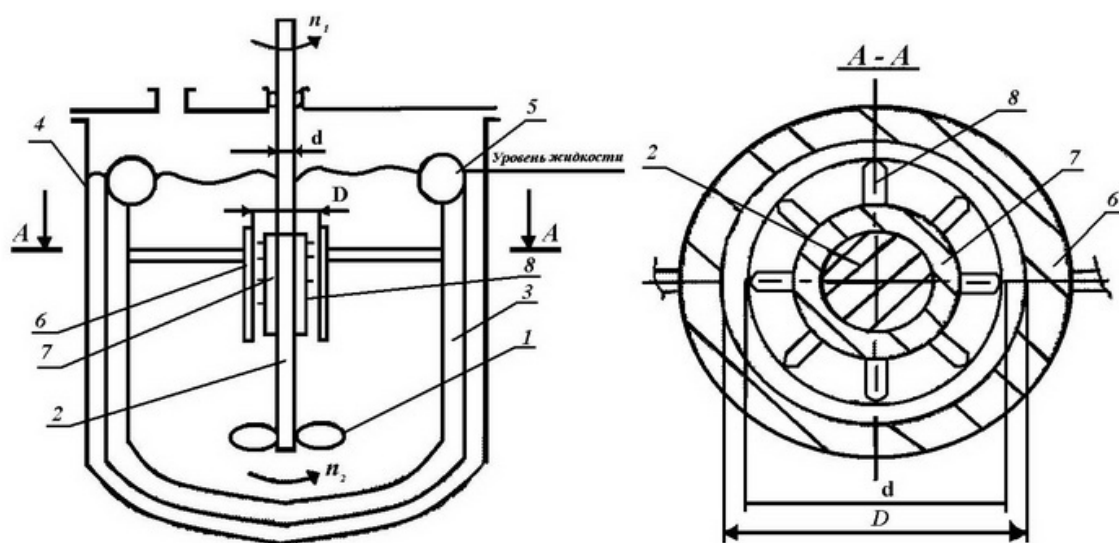


Рис. 1. Комбинированная мешалка:

1 – быстроходная мешалка; 2 – вал; 3 – тихоходная мешалка; 4 – корпус; 5 – элементы с положительной плавучестью; 6 – ведомая полумуфта; 7 – ведущая полумуфта; 8 – стержни из упругого материала

Источник: [1]

Описание экспериментальной установки.

Перемешивающее устройство ES-8300D состоит из блока двигателя с трехкулачковым патроном и блока управления. В нижней части блока двигателя установлен подшипник скольжения с валом, на котором закреплен трехкулачковый патрон 5. Вращающийся момент вала двигателя передается на мешалку через систему из двух металлических втулок и резиновой муфты (рис. 2).

Трехкулачковый патрон 5 позволяет закрепить мешалки с диаметром вала от 1 до 10 мм. Штанга 6 и болт крепления блока двигателя 4 с зажимом служат для установки устройства на лабораторный штатив.

Методика проведения эксперимента:

1) в емкость для перемешивания наливаются исходные вещества – масло и воду в заданном соотношении;

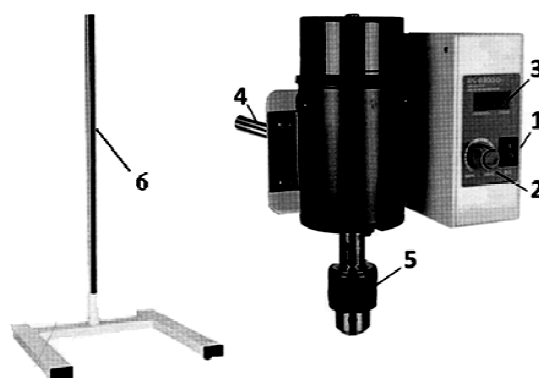


Рис. 2. Внешний вид перемешиваемого устройства:

1 – электрический выключатель; 2 – регулятор скорости; 3 – цифровой индикатор скорости вращения вала мешалки; 4 – крепление блока двигателя с зажимом; 5 – трехкулачковый патрон

Источник: [2]

2) устанавливают быстроходную мешалку в патрон;

3) на блоке питания устанавливают нужную частоту вращения вала двигателя;

4) измеряют напряжение в сети и силу тока до начала перемешивания;

5) включают двигатель мешалки и ведут процесс перемешивания до получения устойчивой эмульсии;

6) численные значения параметров заносят в таблицу;

7) строят график зависимости среднего числа оборотов тихоходной мешалки от числа оборотов быстроходной по результатам трех параллельных опытов.

Были проведены экспериментальные исследования зависимости числа оборотов тихоходной рамной мешалки от числа оборотов быстроходной мешалки. Особенностью такой комбинированной конструкции является то, что передача крутящего момента от быстроходной мешалки к тихоходной происходила через гидромуфту типа «цилиндр – цилиндр», рабочей жидкостью в кольцевом зазоре которой была сама перемешиваемая среда.

Изучались гидромеханические процессы, в которых рабочей жидкостью была вода (табл. 1) и смесь воды и веретенного гидравлического масла АУ в пропорции 6:1 (табл. 2).

Как видно из данных табл. 1, при числе оборотов быстроходной мешалки менее 800 об/мин наблюдается стабильная работа комбинированной мешалки, где скорость вращения тихоходной мешалки возрастает с числом оборотов быстроходной.

График последней экспериментальной зависимости представлен на рис. 3.

Таблица 1

Экспериментальные данные перемешивания (перемешиваемая среда – вода)

Число оборотов быстроходной мешалки (об/мин)	Число оборотов тихоходной мешалки (об/мин)			
	1 опыт	2 опыт	3 опыт	$n_{\text{ср}}$
100	35,29	33,34	31,57	33,4
150	42,86	42,86	46,15	43,96
200	50	54,54	50	51,52
250	42,86	42,86	46,15	43,96
300	40	40	40	40
350	46,15	50	46,15	47,43
400	60	50	66,67	58,89
450	42,86	46,15	42,86	43,96
500	46,15	46,15	46,15	46,15
800	75	66,67	75	72,23

Таблица 2

Экспериментальные данные перемешивания (перемешиваемая среда – вода+веретенное масло)

Число оборотов быстроходной мешалки (об/мин)	Число оборотов тихоходной мешалки (об/мин)			
	1 опыт	2 опыт	3 опыт	$n_{\text{ср}}$
100	2,28	2,27	2,28	2,28
150	4,14	4,109	4,08	4,1
200	10,9	10,71	10,9	10,84
300	8,10	8,219	8,10	8,14
350	13,63	13,95	13,63	13,74
400	13,63	13,95	13,63	13,74
450	26,08	27,27	26,08	26,5
500	23,07	25	23,07	23,7

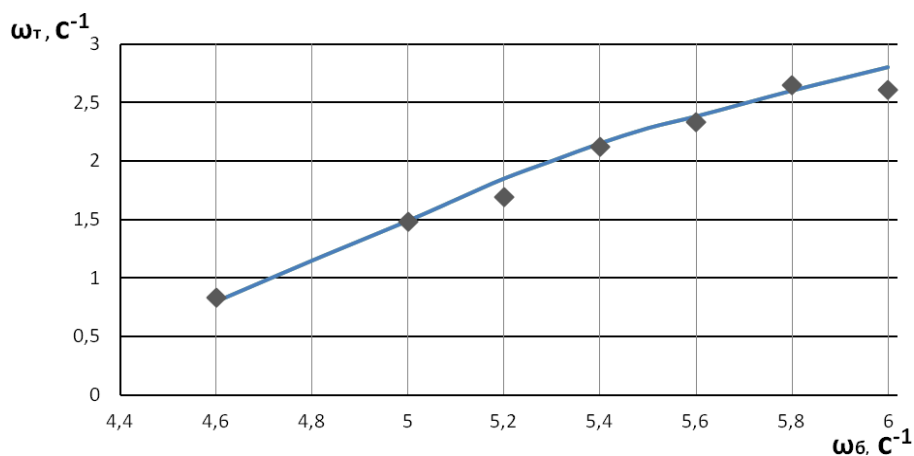


Рис. 3. Экспериментальная зависимость числа оборотов тихоходной мешалки от числа оборотов быстроходной мешалки:

1 – теоретическая зависимость, рассчитанная МНК и МНОК

◆ – эксперимент

Как видно из данных табл. 2, с увеличением числа оборотов быстроходной мешалки скорость тихоходной начинает падать при $n > 450$ об/мин, что объясняется неполным заполнением рабочего зазора между ведущей и ведомой полу-муфтами жидкостью.

Был проведен корреляционный анализ экспериментальной зависимости угловой скорости вращения тихоходной мешалки от угловой скорости вращения быстроходной мешалки [3].

Результаты аппроксимации полученной экспериментальной зависимости методом наименьших квадратов и методом наименьших относительных квадратов степенной зависимости $\omega_t = k \cdot \omega_6^n$ приведены ниже [4–7]:

$$\text{Для МНК} \quad \omega_t = 0,0053 \cdot \omega_6^{1,325}, \quad (1)$$

$$\text{Для МНОК} \quad \omega_t = 0,0047 \cdot \omega_6^{1,348}, \quad (2)$$

В табл. 3 приведены результаты относительных отклонений теоретических и экспериментальных значений числа оборотов тихоходной мешалки от числа оборотов быстроходной мешалки.

Таблица 3

Зависимость относительных отклонений теоретических и экспериментальных значений числа оборотов тихоходной мешалки от числа оборотов быстроходной мешалки

Номер опыта	МНК δ , %	МНОК δ , %
1	3,193	1,358
2	–5,665	–4,637
3	6,611	3,526
4	–1,923	–0,899
5	–4,773	–1,839
6	–7,584	–2,708
7	11,162	4,521

Как видно из табл. 3, относительное отклонение в МНК не превышает 11,62 %, а в МНОК относительное отклонение не превышает 4,52 %, при этом среднее значение относительных отклонений в МНК – 2,9 %, МНОК – 0,6 %.

Корреляционный анализ, проведенный для линеаризованных уравнений (1) и (2) в виде:

$$y = a + bx, \quad (3)$$

где $a = \ln k$, $b = n$.

С учетом параллельных опытов показывает, что воспроизводимость в параллельных опытах обеспечивалась, так как расчетное значение критерия Кохрена $G_r^{\text{расчет}} = 0,4093$ не превышает его табличного значения $G_r^{\text{табл}} = 0,5612$.

Адекватность математической модели (1) метод наименьших квадратов не обеспечивает, так как расчетный критерий Фишера $F_r^{\text{расчет}} = 9,3519$, а табличный $F_r^{\text{табл}} = 2,66$.

Математическая модель (2) методом наименьших относительных квадратов обеспечивает адекватность по критерию Фишера, так как его расчетное значение $F_r^{\text{расчет}} = 2,21 < 2,66$ [4–7].

Проверка результатов эксперимента по критерию Стьюдента подтверждает значимость обоих коэффициентов a и b . Расчетные значения критерия Стьюдента по коэффициентам a и b составили соответственно, $Sa = 331,4$ и $Sb = 83,283$ больше табличных $St_{\text{таб}} = 2,14$. Коэффициент корреляции $r = 0,9944$, то есть корреляционная связь высокая и прямая.

Таким образом, метод наименьших относительных квадратов позволяет с более высокой точностью моделировать процесс перемешивания для степенной зависимости $\omega_t = k \cdot \omega_6^n$ и обеспечить адекватность математической модели по критерию Фишера при значении коэффициента корреляции близким к единице.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. м. 2015100372/05, МПК В 01 F 7/16. Смеситель / Голованчиков А. Б., Дулькина Н. А., Шагарова А. А., Дикарева Н. Н., Потапова Н. С., Лыско Ю. А.; заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – № 152750 РФ; заявл. 12.01.2015; опубл. 20.06.2015.
2. Паспорт перемешивающего устройства ES-8300D. Информация фирмы «ЭКРОС» 2011 г.
3. Планирование эксперимента в химической технологии / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха; под ред. Т. С. Антоненко. – Киев: Вища школа, 1976. – 184 с.
4. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии: учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов. – Волгоград, 1994. – 114 с.
5. Голованчиков, А. Б. Корреляционный анализ линеаризованного реологического уравнения для водно-глинистых суспензий с добавлением углещелочного реагента (УЩР) / А. Б. Голованчиков, Н. А. Кидалов, А. С. Князева // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. тр. № 12 (139) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 21). – С. 16–19.
6. Голованчиков, А. Б. Аппроксимация табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей степенным уравнением / А. Б. Голованчиков, А. А. Решетников, А. С. Остроухова, Е. Г. Фетисова // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. тр. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 4). – С. 37–40.
7. Голованчиков, А. Б. Повышение точности при аппроксимации табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей / А. Б. Голованчиков, Е. В. Васильева, А. С. Остроухова, А. А. Решетников // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. тр. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 12). – С. 9–11.

УДК 532.529.5

*Г. И. Лепехин¹, Т. Л. Ворсина¹, Г. С. Тарамова¹, Е. А. Мишта², Н. А. Прохоренко²***КОНСТРУКЦИИ НОМОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ДИСКОВ**¹МОУ «Рахинская СОШ» Среднеахтубинский р-н,
Волгоградской области²Волгоградский государственный технический университет

В статье предлагается в качестве инженерных экспресс-расчетов гидродинамических и тепловых параметров работы обогреваемых (охлаждаемых) центробежных насадок использовать метод номограмм.

Ключевые слова: центробежная насадка, вязкая жидкость, безразмерная толщина пленки, безразмерный расход, единичная мощность, критерий Нуссельта, номограмма.

*G. I. Lepyokhin¹, T. L. Vorsina¹, G. S. Taramova¹, E. A. Mishta², N. A. Prokhorenko²***DESIGNS OF NOMOGRAMS FOR DETERMINATION OF HYDRODYNAMIC AND THERMAL PARAMETERS OF WORK OF CENTRIFUGAL DISKS**¹Rakhinskaya SOSh Municipal Educational Institution Sredneakhtubinsky district,
Volgograd region²Volgograd state technical university

In article it is offered to use a method of nomograms as engineering express calculations of hydrodynamic and thermal parameters of work of the warmed (cooled) centrifugal nozzles.

Keywords: tsentrobezhny nozzle, viscous liquid, dimensionless thickness of a film, dimensionless expense, single power, Nusselt's criterion, nomogram.

Проблема течения и теплообмена жидких сред по поверхности вращающихся центробежных насадок привлекает многих исследователей [1–7]. Поиску методов автомодельных решений полных уравнений реодинамики для тонкопленочных течений в центробежных силовых полях, посвящены работы [3, 7, 8] для центробежных насадок различного профиля. В работах [3, 6] разработаны методики инженерных расчетов высокоэффективных технологических процессов: теплообмена, выпаривания, дегазации, эмульгирования и т. д. Более ранние работы зарубежных исследователей [1, 2, 5] были посвящены исследованиям задач с учетом центробежной силы инерции и экспериментальным проверкам полученных теоретических зависимостей толщины пленки и для области малых единичных мощностей ($g_0 < 0,07$). Современные исследования зарубежных авторов по данной проблеме отсутствуют. Задачей проведенных исследований в данной статье является разработка номограмм для экспресс-методов расчета основных технологических параметров работы обогреваемых центробежных дисков.

Решение трехмерной задачи течения как вязкой, так и неньютоновской жидкостей по поверхностям центробежных насадок [8–11] по-

зволило получить зависимости для основных гидродинамических параметров, а решение задачи нагревания (охлаждения) пленки жидкости привело к определению теоретических зависимостей коэффициентов теплоотдачи, выраженных в критериальном виде.

Для технологического расчета того или иного гидродинамического процесса на основании теоретических исследований [8, 10] получены зависимости:

– средней радиальной скорости:

$$\langle \vartheta_r \rangle = 0,68 W r g_0^{0,664}, \text{ при } g_0 \leq 0,07, h_0 \leq 0,6$$

$$\langle \vartheta_r \rangle = 0,575 W r g_0^{0,662}, \text{ при } 0,07 < g_0 < 0,95;$$

– средней тангенциальной скорости:

$$\langle \vartheta_\phi \rangle = 0,28 W r g_0^{0,664}, \text{ при } h_0 > 0,6;$$

– безразмерная толщина пленки:

$$h_0 = 1,44 g_0^{1/3}, \text{ при } g_0 \leq 0,07$$

$$h_0 = 1,766 g_0^{0,4}, \text{ при } 0,07 < g_0 < 0,95;$$

где $h_0 = h \sqrt{\frac{W}{\nu}}$; h – толщина пленки,

– безразмерный расход:

$$g_0 = \frac{g}{1,9 \pi r^2 \sqrt{W \nu}};$$

– мощность, затрачиваемая на течение жидкости:

$$N = 4,176 \sqrt{w^5 \nu \rho} R^2 r_0^2 g_0 \left[1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \right],$$

при $g_0 \leq 0,07$;

$$N = 1,39 \sqrt{w^5 \nu \rho} R^{2,84} r_0^{1,16} g_0^{0,58} \left[1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^{2,84} \right],$$

при $0,07 < g_0 < 0,95$.

Перечисленные параметры в расчетах обычно определяют на краю центробежной насадки.

В ходе технологического расчета гидродинамических параметров первоначально вычисляют значения безразмерного расхода на заданном радиусе, так как $g_0 = g_0(r)$. выяснив в какой области единичных мощностей работает центробежная насадка по полученным теоретическим зависимостям определяют основные параметры работы.

Однако для инженерных экспресс-расчетов гидродинамических параметров целесообразно пользоваться номограммой, представленной на рис. 1.

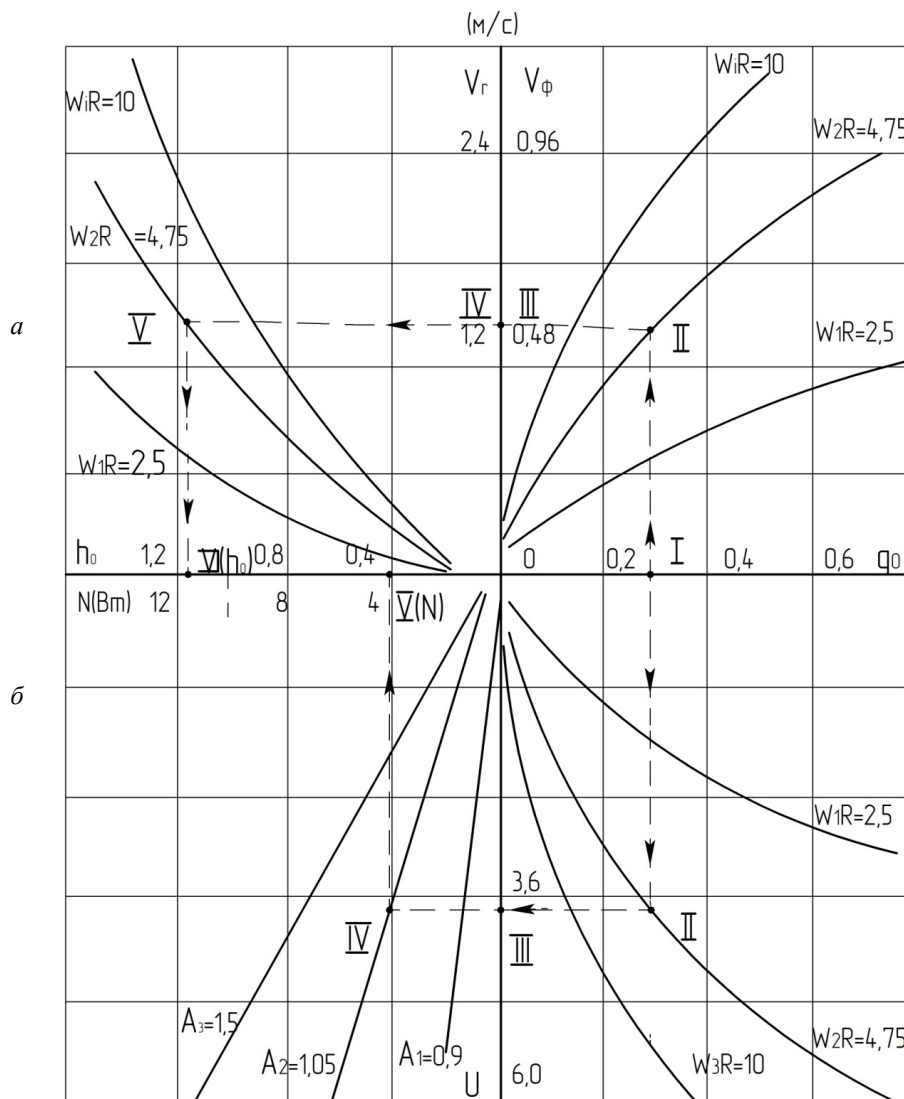


Рис. 1. Номограмма для определения гидродинамических параметров работы:

а – для определения компонента скорости $\vartheta_r, \vartheta_\phi$ и безразмерной толщины пленки h_0 ;

б – для определения мощности N (Вт), затрачиваемой на течение жидкости

Для определения параметров $(\vartheta_r), (\vartheta_\phi), h_0, N$ достаточно знать g_0 . Вариация конструктивных и эксплуатационных параметров работы цент-

робежной насадки можно свести к изменению линейной скорости WR . По номограмме для заданных g_0 и WR определяются вышеуказанные параметры работы.

Пример использования номограммы на рис. 1 (а, б)

а) для определения $\vartheta_r, \vartheta_\phi, f_{\vartheta_0}$:

при $g = 115 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $W_2 = 50 \text{ с}^{-1}$, $r_2 = 0,095 \text{ м}$,

$\nu = 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, безразмерный расход

$g_0 = \frac{g}{1,9\pi r^2 \sqrt{W\nu}} = 0,3$, $W_2 r_2 = 4,75 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, средняя ра-

диальная скорость пленки $\langle \vartheta_r \rangle = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, средняя

тангенциальная скорости пленки $\langle \vartheta_\phi \rangle = 0,48 \frac{\text{м}}{\text{с}}$,

безразмерная толщина пленки $h_0 \cong 1,2$, а маршрут следования по номограмме имеет вид:

$I(g_0) \rightarrow II(W_2 R_2) \rightarrow III(\langle \vartheta_\phi \rangle) \rightarrow IV(\langle \vartheta_r \rangle) \rightarrow$

$\rightarrow V(W_2 R_2) \rightarrow VI(h_0)$ для $0,07 < g_0 < 0,95$;

б) для определения мощности N :

при $g_0 = 0,3$ и $W_2 R_2 = 4,75 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, зная $U = 3,8$ и

$A_2 = 1,05$, мощность, затрачиваемая на течение вязкой жидкости по диску, равна $N = 4 \text{ Вт}$, а маршрут следования по номограмме имеет вид:

$I(g_0) \rightarrow II(W_2 R_2) \rightarrow III(U) \rightarrow IV(A_2) \rightarrow V(N)$

для $0,07 < g_0 < 0,95$.

Теоретические исследования [9, 11] явлений теплообмена при тонкопленочном течении на центробежных насадках показали, что на них реализуются два режима теплообмена: режим развивающегося теплового пограничного слоя – «входовой» участок и режим полного прогрева пленки.

Дано:

$g_0 = 0,3$; $W = 50 \text{ с}^{-1}$; $r = 0,095 \text{ м}$; $\nu_2 = 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; $\lambda = 2,8 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \times \text{с} \times ^\circ\text{С}}$; $c = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times ^\circ\text{С}}$; $\rho = 1,22 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$a = \frac{\lambda}{c\rho} = 1,15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; $\nu_1 = 6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; $\text{Re}_2 = 450$; $\text{Pr} = 525$; $\frac{r}{r_0} = 3,2$

то среднее число Нуссельта $\langle Nu \rangle = 325$, а маршрут следования по номограмме имеет вид:

$I(g_0) \rightarrow II(\text{Pr}_1) \rightarrow II\left(\frac{r}{r_0}\right) \rightarrow IV(\text{Pr}_1) \rightarrow V(\text{Re}_2) \rightarrow VI\left(\frac{Nu}{f(g_0)}\right) \rightarrow VII(g_0) \rightarrow VIII(Nu)$

для $0,07 < g_0 < 0,95$.

Экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена ньютоновской жидкости проводились в пределах интегральных параметров работы насадки, представленных в таблице.

Для области малых единичных мощностей локальный коэффициент теплоотдачи от центральной обогреваемой насадки к пленке жидкости в области полного прогрева пленки имеет следующий вид:

$$Nu = 1,027 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33} g_0^{0,11} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r}\right)^{8/3}\right]^{0,66},$$

при $g_0 \leq 0,07$.

Для больших единичных мощностей среднее для центробежных насадок число Нуссельта определяется зависимостью:

$$\langle Nu \rangle = \frac{1}{R - r_0} \left[\int_{r_0}^{r_{\text{см}}} Nu_1 dr + \int_{r_{\text{см}}}^R Nu_2 dr \right],$$

где r_0 – радиус сопла; $r_{\text{см}}$ – радиус смыкания теплового пограничного слоя с поверхностью пленки; и тогда среднее число $\langle Nu \rangle$ имеет вид при $0,07 < g_0 \leq 0,95$:

$$Nu = 0,95 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33} g_0^{0,068} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r}\right)^{2,8}\right]^{0,66}.$$

Инженерные экспресс-расчеты тепловых параметров роторно-пленочных аппаратов можно проводить, пользуясь номограммой, представленной на рис. 2. По известным значениям безразмерного расхода g_0 , чисел Re и Pr определяется локальное число Nu . Среднее значение $\langle Nu \rangle$ в этом случае можно определить как среднеарифметическое нескольких локальных значений Nu .

Пример использования номограммы на рис. 2:

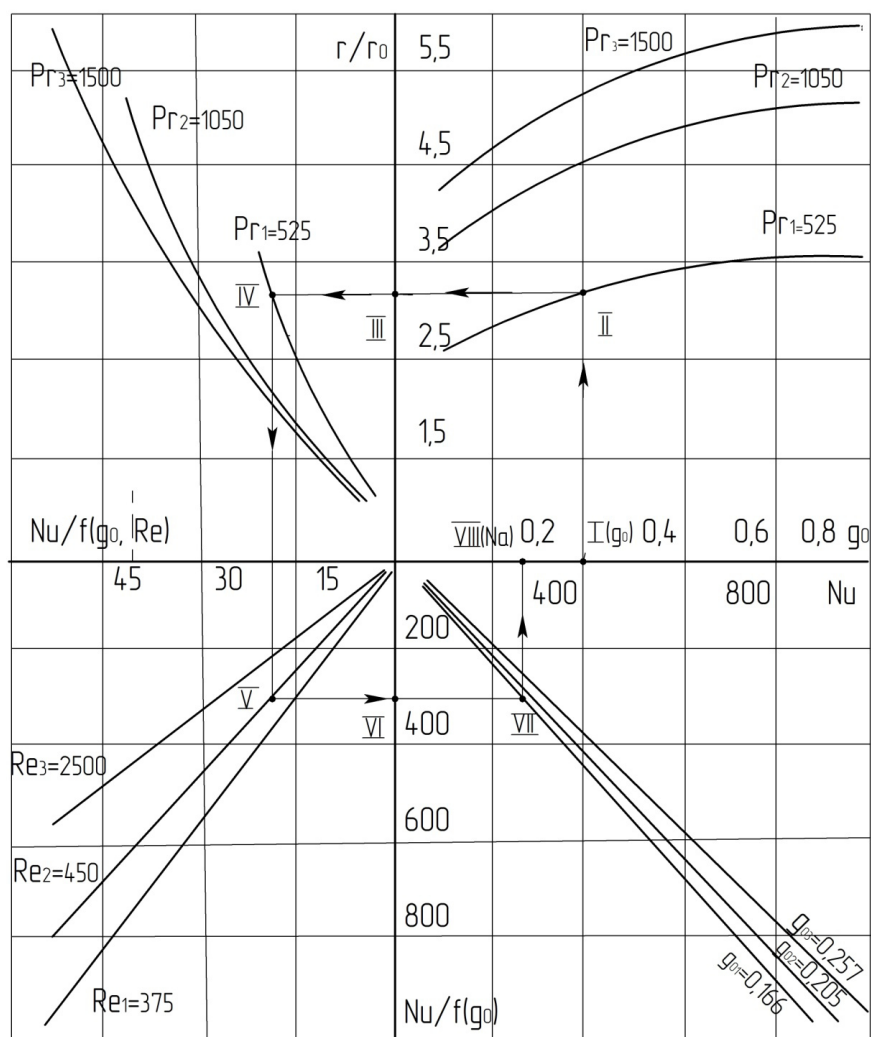


Рис. 2. Номограмма для определения тепловых параметров работы

Исходные данные эксперимента

Расход жидкости, $g, \text{м}^3/\text{сек}$	$(5,5 \div 200)10^{-6}$
Частота вращения ротора, $W, \text{с}^{-1}$	$50 \div 500$
Текущий радиус диска, $r, \text{м}$	$(2,5 \div 11,5)10^{-2}$
Вязкость жидкости, $\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$(0,01 \div 6)10^{-4}$
Давление греющего пара, $P, \text{Н/м}^2$	$(0,2 \div 1,0)10^5$
Температура греющего пара, $t_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$(58,3 \div 99,1)$
Плотность греющего пара, $\rho_{\text{п}}, (\text{кг/м}^3)$	$0,129 \div 0,58$
Энтальпия греющего пара, $i_{\text{п}}, (\text{Дж/кг})$	$(2,6 \div 2,67)10^6$
Безразмерный расход, g_0	$0,07 \div 0,893$
Критерий Прандтля, $Pr = \frac{\nu}{a}$	$475 \div 1900$
Критерий Рейнольдса, $Re = \frac{\omega r^2}{\nu}$	$312,5 \div 7500$
Температуропроводность жидкости, $a, \text{м}^2/\text{с}$	$(1,05 \div 1,52)10^{-6}$
Плотность жидкости, $\rho, \text{кг/м}^3$	$1226 \div 1260$

Окончание таблицы

Диаметр подающего сопла, d_0 , м	0,02
Толщина экспериментального диска, δ_g , м	0,02
Коэффициент теплопроводности алюминиевого диска, λ_g , Вт/(м·К)	195
Радиусы установки термопар в теле диска, r_t , м	0,025; 0,05; 0,075

Данные таблицы использовались и для построения номограмм рис. 1 и 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Matsumoto S., Saito K., Tackashima J. The thickness of eriscous liquid film on a rotating disk. – J. Chem. Eng. Japan, 1973, v.6, № 6, p. 503–507.
2. Charwat A.F., Kelly R.E., Gazley C. The development and the stability of thin liquid films on a rotating on a rotating disk. – J. Fluid. Mach, 1973. v.53, 32, p.227–225.
3. Рябчук, Г. В. Разработка методов расчета интенсивных технологических процессов в поле центробежных сил: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 / Г. В. Рябчук. – Казань, 1985. – 398 с.
4. Швеиц, А. Ф. Течение осесимметричной пленки жидкости по поверхности вращающегося диска / А. Ф. Швеиц, Л. П. Партнов, Г. Г. Филиппов, А. И. Горбунов // ПТОХТ. – 1992. – № 6, Т. 26. – С. 895–899.
5. Owen J.M. Flow and heat transfer in rotating disk system. Taunton (somerset) ^ Research studies press. – 1989, v.1, № XVII, p. 278.
6. Тимранов, Ф. М. Процессы переноса в центробежных пленочных аппаратах и методы их расчета: дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.08 / Ф. М. Тимранов. – Казань, 1998. – 381 с.

7. Рябчук, Г. В. Течение нелинейно-вязкой жидкости по поверхности вращающегося плоского диска / Г. В. Рябчук А. Г. Шукина // Изв. 8. АН. Механика жидкости и газа. – 2003. – № 6. – С. 155–161.

8. Лепехин, Г. И. Теплообмен в пленке вязкой жидкости на вращающемся диске / Г. И. Лепехин, Г. В. Рябчук, Н. В. Тябин // Химическое машиностроение : межвуз. сб. – М.: Из-во Московского института химического машиностроения, 1976. – Вып. VI. – С. 107–112.

9. LepekhnG.Y., RyabchukG.V., TyabinN.V. Heating of Viscous and Non-Newtonian Fluids on a Rotating Disk. Heat Transfer-Soviet Research. 1978, v. 10, №1 p.16–23.

10. Лепехин, Г. И. Определение толщины пленки вязкой жидкости, текущей по поверхности вращающегося плоского диска / Г. И. Лепехин, Г. В. Рябчук, Н. В. Тябин, Е. Р. Шульман // Реология, процессы и аппараты химической технологии : межвуз. тематический сб. – Волгоград, 1980. – С. 49–56.

11. Лапицкий, В. И. Теплообмен к пленке вязкой жидкости, текущей по поверхности вращающегося плоского диска за тепловым «входным» участком / В. И. Лапицкий, Г. И. Лепехин, В. А. Осокин, Г. А. Попович, Г. В. Рябчук // Химия и химическая технология : известия вузов. – 2006. – Т. 49, вып. 1. – С. 103–105.

УДК 66.048.3.069.833

А. Б. Голованчиков¹, Н. А. Прохоренко¹, Н. А. Дулькина²
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ
В ИСЧЕРПЫВАЮЩЕЙ ЧАСТИ НАСАДОЧНОЙ КОЛОННЫ
С ДИФУЗИОННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОТОКА ПО ЖИДКОЙ ФАЗЕ

¹Волгоградский государственный технический университет

²ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»

На основании дифференциальных уравнений материального баланса и массопередачи выводятся аналитические формулы для расчета технологических параметров и геометрических размеров исчерпывающей части ректификационной колонны, когда равновесная бинарная смесь описывается линейной зависимостью и учитывается продольная диффузия в жидкой фазе.

Предлагается алгоритм расчета и проводится сравнение с результатами типового расчета, когда сплошная жидкая фаза движется в режиме идеального вытеснения.

Ключевые слова: диффузионная структура потока, исчерпывающая часть ректификационной насадочной колонны, линейное уравнение равновесия бинарной смеси, число Пекле, идеальное вытеснение.

A. B. Golovanchikov¹, N. A. Prokhorenko¹, N. A. Dulcina²

MODELING OF PROCESS OF RECTIFICATION IN THE EXHAUSTIVE PART
OF THE PACKED COLUMN WITH DIFFUSION FLOW STRUCTURE IN THE LIQUID PHASE

¹Volgograd state technical University

²FSUE "all-Russian research Institute of aviation materials"

On the basis of differential equations of material balance and mass transfer are derived analytical formulas for the calculation of process parameters and geometric dimensions of the comprehensive part of the distillation column when the equilibrium binary mixture is described by a linear dependence and accounted for the longitudinal diffusion in the liquid phase.

The algorithm of calculation and a comparison with the results of the model calculation when the solid liquid phase moves in the regime of ideal displacement.

Keywords: diffusion flow structure, comprehensive part of a distillation Packed column, a linear equation of equilibrium of binary mixtures Peclet number, the perfect displacement.

Одним из основных методов расчета насадочных массообменных колонн является определение высоты насадки через число теоретических тарелок и высоту насадки эквивалентную одной теоретической тарелке [1–3], однако в этом случае предполагается, что структура потоков по жидкой сплошной фазе соответствует идеальному смешению, а по дисперсной паровой фазе – идеальному вытеснению.

Если последняя по пузырькам пара, всплывающим снизу вверх, в общем-то выполняется, то неучет обратного перемешивания, то есть продольной диффузии может приводить, как и в реакторных процессах [4–5], к значительным ошибкам в расчетах технологических и геометрических параметров колонны.

Целью данной работы является разработка алгоритма аналитического расчета исчерпывающей части насадочной ректификационной колонны с учетом продольной диффузии. Расчетами показано, что высота насадки в укрепляющей части колонны существенно зависит от числа Пекле продольной диффузии $Pe < 50$, а рабочая линия не является прямой.

Общая часть расчетов, касающаяся формул материального баланса и массопередачи для рассматриваемого случая, совпадает с алгоритмом расчета для укрепляющей части, но в исчерпывающей части имеется дополнительный жидкий поток – исходная смесь:

$$y = x_k + \frac{R+F}{R+1}(x - x_k) - \left(\frac{R+F}{R+1}\right)g / Pe, \quad (1)$$

где $x_f < x_F$ за счет скачка концентраций:

$$x_f = x_F - \frac{1}{Pe} g_f, \text{ при } h = 0. \quad (2)$$

При $Pe \rightarrow \infty (De \rightarrow 0)$, то есть для режима идеального вытеснения по жидкой фазе $x_f = x_F$, уравнение рабочей линии (1) переходит в известное уравнение рабочей линии исчерпывающей части колонны. Граничное условие для градиента концентрации g на выходе жидкой фазы, то есть при $h = 1$:

$$g = g_k = 0. \quad (3)$$

Последнее легко показать, анализируя уравнение (1): при $h = 1$, $x = x_k$, $y = x_k$, что обеспечивается при условии (3). Тогда уравнение мас-

сопередачи с учетом уравнения рабочей линии (1) принимает вид:

$$\frac{d^2 x}{dh^2} - P \frac{dx}{dh} - q(x + Q) = 0, \quad (4)$$

где $P = Pe + ЧЕП_u (H_{ud} / H_{ub}) \left(\frac{R+F}{R+1} \right) / b$; H_{ud}, H_{ub} – соответственно высота насадки в исчерпывающей части с учетом продольного перемешивания жидкой фазы и в его отсутствии, то есть при $Pe \rightarrow \infty$;

$$q = Pe \cdot ЧЕП_u (H_{ud} / H_{ub}) \left[1 - \left(\frac{R+F}{R+1} \right) / b \right];$$

$$Q = \left[\frac{a}{b} + \left(\frac{F-1}{R+1} \right) x_k / b \right] / \left[1 - \left(\frac{R+F}{R+1} \right) / b \right].$$

Однородное дифференциальное уравнение (4) второго порядка с постоянными коэффициентами P и Q имеет аналитическое решение [6]:

$$x = c_1 e^{r_{1h}} + c_2 e^{r_{2h}} - Q,$$

где c_1 и c_2 – постоянные интегрирования, а корни характеристического уравнения определяются по формулам:

$$r_{1,2} = P / 2 \pm \sqrt{(P / 2)^2 + q}.$$

Постоянные интегрирования c_1 и c_2 находятся из граничного условия: $h = 1$, $x = x_k$, $(dx / dh) = 0$,

$$\text{то есть } \begin{cases} c_1 = \frac{(x_k - Q) \exp(-r_1)}{1 - r_1 / r_2}; \\ c_2 = -c_1 (r_1 / r_2) \exp(r_1 - r_2). \end{cases}$$

В расчетах, увеличивая отношение высот насадки (H_{ud} / H_{ub}) , находят при заданном числе Pe значения коэффициентов P и q и соответствующих им параметров $r_{1,2}$ и $c_{1,2}$ так, что при

$$h = 0: x_0 - \frac{1}{Pe} \left(\frac{dx}{dh} \right)_0 \approx x_F \text{ с заданной точностью.}$$

Результаты расчетов приведены в конце табл. 2 при $Pe = 20$, так как при $Pe = 10$ (приведенного в ранее изданной статье для укрепляющей части колонны) $x_f < x_F^*$, то есть рабочая линия за счет скачка концентраций на входе в исчерпывающей части колонны пересекает равновесную линию и, чтобы проводить расчеты при $Pe \leq 10$, необходимо было бы увеличивать флегмовое число.

Таблица 1

**Исходные и справочные данные насадочной ректификационной колонны
для бинарной смеси «хлороформ-бензол»**

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1. Производительность по исходной смеси	кг/час	G_F	1500
2. Абсолютная мольная концентрация легколетучего в исходной смеси	масс	x_F^I	0,55
3. Абсолютная мольная концентрация легколетучего в кубе	масс	x_k^I	0,15
4. Молекулярная масса легколетучего	кг А/кмол А	M_a	120
5. Молекулярная масса для труднолетучего	кг А/кмол А	M_b	78
6. Начальная температура подаваемой исходной смеси	°С	t_n	20
7. Температура кипения исходной смеси	°С	t_F	70,1
8. Температура кипения кубовой жидкости	°С	t_w	76,4
9. Теплоемкость исходной смеси	кДж/кг К	c_F	1,79
10. Теплоемкость дистиллята	кДж/кг К	c_d	1,25
11. Теплоемкость кубовой жидкости	кДж/кг К	c_w	2,03
12. Удельная теплота парообразования	кДж/кг	r_d	250
13. Давление в колонне	ат	p_a	1,033
14. Порозность насадки	м ³ /м ³	ε	0,64
15. Удельная поверхность насадки	м ² /м ³	σ	87,5
16. Средняя динамическая вязкость газа в исчерпывающей части колонны	пас	μ_u	$1,0 \cdot 10^{-5}$
17. Средняя плотность жидкой фазы	кг/м ³	ρ_e	1148

Таблица 2

**Основные расчетные параметры насадочной ректификационной колонны
для бинарной смеси «хлороформ-бензол»**

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1. Эквивалентный диаметр насадки	м	d_e	0,0292
2. Средняя температура в исчерпывающей части колонны	°С	t_u	75,1
3. Расход дистиллята	кг/час	G_d	759,5
4. Расход кубовой жидкости	кг/час	G_k	740,5
5. Мольная концентрация легколетучего в кубовой жидкости	кмоль А / кмоль(А+В)	x_w	0,103
6. Мольная концентрация легколетучего в исходной смеси	кмоль А / кмоль(А+В)	x_F	0,443
7. Число питания	кмоль(А+В) / кмоль(А+В)	F	2,38
8. Средняя молекулярная масса в исчерпывающей части колонны	кг(А+В) / кмоль(А+В)	M_{cu}	89,4
9. Средняя плотность паровой фазы в исчерпывающей части колонны	кг/м ³	ρ_u	3,13
10. Средний тангенс угла наклона равновесной линии в исчерпывающей части колонны	—	m_u	1,21

Окончание табл. 2

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
11. Равновесная концентрация в паровой фазе, соответствующая концентрации легколетучего на входе в жидкой фазе	кмоль А / кмоль(А+В)	y_F^*	0,6
12. Оптимальное флегмовое число	—	R_0	3,33
13. Рабочая концентрация в паровой фазе, соответствующая концентрации легколетучего на входе в жидкой фазе	кмоль А / кмоль(А+В)	y_F	0,551
14. Число теоретических тарелок в исчерпывающей части колонны	—	u_n	11,01
15. Расход паровой фазы в исчерпывающей части колонны	кг/час	G	3286,1
16. Расход жидкой фазы в исчерпывающей части колонны	кг/час	L_u	4026,6
17. Число Рейнольдса по пару для исчерпывающей части колонны	—	Re_u	$1,925 \cdot 10^4$
18. Рабочая фиктивная скорость пара в исчерпывающей части колонны	м/с	ϑ_{pu}	1,34
19. Расчетный диаметр исчер. части	м	D_{ku}	0,525
20. Расход жидкой фазы в исчерпывающей части колонны	кг/час	L_u	4026,6
21. Число Рейнольдса по пару для исчерпывающей части колонны	—	Re_u	$1,925 \cdot 10^4$
22. Рабочая фиктивная скорость пара в исчерпывающей части колонны	м/с	ϑ_{pu}	1,34
23. Расчетный диаметр исчерпывающей части колонны	м	D_{ku}	0,525
24. Высота насадки эквивалентная теоретической тарелке в исчер. части	м	h_u	1,35
25. Высота насадки в исчерпывающей части колонны	м	H_u	14,87
26. Число единиц переноса по жидкой фазе в исчерпывающей части	—	S_{pu}	11,47
27. Площадь сечения исчерпывающей части колонны	м ²	S_u	0,217
28. Коэффициент массопередачи по жидкой фазе в исчерпывающей части колонны	кмольА / (м ³ с кмольА / кмоль(А+В))	k_u	$9,57 \cdot 10^{-3}$
29. Среднее время пребывания жидкой фазы в исчерпывающей части	с	τ_u	11,05
Расчетные параметры исчерпывающей части колонны по диффузионной модели			
30. Коэффициенты линейного уравнения $y^* = a + bx$, описывающего равновесие в исчерпывающей части	кмольА / кмоль(А+В)	a	-0,0125
		b	1,41
31. Число единиц переноса в исчерпывающей части	—	$ЧЕП_u (spu)$	11,47
32. Корни характеристического уравнения	—	q	29,4
	—	r_1	41,37
	—	r_2	-0,711
33. Постоянные интегрирования	кмоль А / кмоль L	c_1	$5,8 \cdot 10^{-21}$
		c_2	0,638
34. Высота насадки в исчер. части	м	H_{ud}	30,1
35. Кпд исчерпывающей части	—	η	0,49

На рис. 1 для наглядности представлены графики равновесной линии 1, описываемой линейной зависимостью, рабочей линии 2, описываемой известным линейным уравнением, соответствующим типовому алгоритму расчетов исчерпывающей части ректификационной колонны, и рабочей линии 3, описываемой уравне-

нием (1) для диффузионной модели при $Pe = 15$.

В этом случае отношение высот насадки при типовом расчете к высоте, учитывающей продольную диффузию, соответствует кпд этой части колонны:

$$\eta_u = 18,86 / 30,13 = 0,493$$

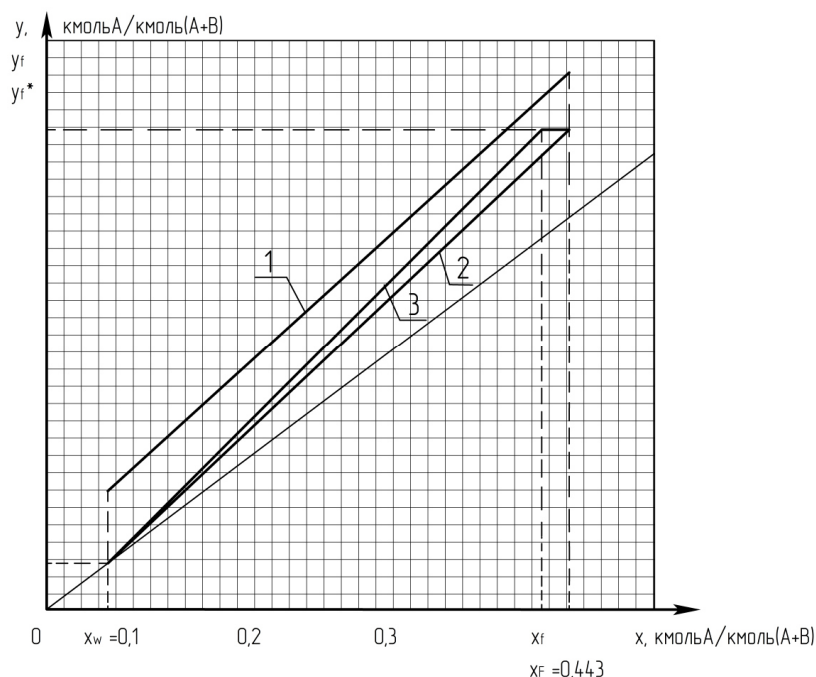


Рис. 1. График зависимостей рабочих и равновесных концентраций:
 1 – равновесная и рабочие линии процесса ректификации в исчерпывающей части насадочной колонны;
 2 – типовой расчет, $Pe \rightarrow \infty, De \rightarrow 0$; 3 – расчет по диффузионной модели при $Pe=20$

На рис. 2 представлены графики зависимости высоты насадки и начальной концентрации x_f в зависимости от числа Pe для исчерпывающей части колонны. Как видно из этого рисунка, при $Pe > 80$ продольное перемешивание в исчерпывающей части можно не учитывать (аналогичный вывод сделан для укрепляющей части колонны в

ранее изданной статье) и параметры колонны можно рассчитывать по типовому алгоритму.

При $Pe < 80$ отклонение в расчетах с учетом продольной диффузии по высоте насадки не превышает 10 %, что, как показано выше, может привести даже к необходимости увеличения рабочего флегмового числа.

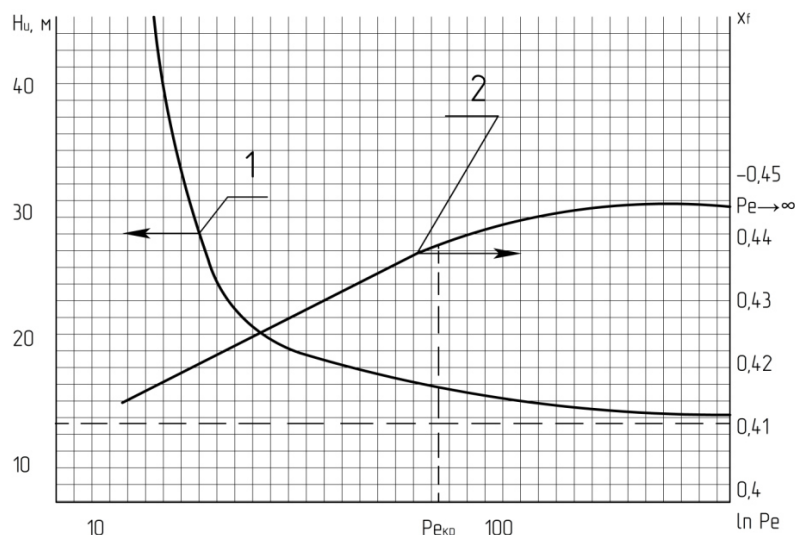


Рис. 2. Зависимость высоты исчерпывающей части насадочной ректификационной колонны (1) и входной концентрации жидкой фазы (2) от числа Пекле продольной диффузии

Таким образом, продольная диффузия существенно влияет на технологические и геометрические размеры исчерпывающей части рек-

тификационной колонны при $Pe < 80$. В этом случае необходимая высота насадки увеличивается на 10 % и более по сравнению с типовым

расчетом, предполагающим идеальное вытеснение по жидкой кипящей фазе. Кроме того рабочая линия описывается нелинейной зависимостью, а скачок концентрации по жидкой фазе значительно уменьшит локальную движущую силу и приводит к необходимости увеличения рабочего флегмового числа. Сама рабочая линия, занимающая положение между типовой рабочей линией и линией равновесия, становится аналогом кинетической кривой, рассчитываемой аналитически по приведенному в статье алгоритму.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багатуров, С. А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации / С. А. Багатуров; под ред. С. А. Багатурова. – Изд. 3-е, перераб. – М.: Химия, 1974. – 440 с.

2. Голованчиков, А. Б. Моделирование процессов усреднения концентраций в аппаратах с комбинированной структурой потоков / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, В. В. Миняйло // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10 (97) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 14). – С. 19–22.

3. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969.

4. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 448 с.

5. Голованчиков, А. Б. Моделирование гидромеханических и тепломассообменных процессов в аппаратах и реакторах : монография / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Ю. В. Аристова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – 139 с.

6. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – 8-е изд. – М.: Химия, 1969. – 621 с.

УДК 621.86.067:620.22-492

А. Б. Голованчиков, А. А. Шагарава, Н. А. Прохоренко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАБОТУ ЗАГРУЗОЧНЫХ БУНКЕРОВ

Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы, связанные с поведением сыпучего материала в загрузочных бункерах под воздействием вибрации, разработана методика экспериментальных исследований и экспериментальная установка. Показано, что наличие вибрации повышает эффективность работы загрузочных бункеров, особенно при загрузке связных и слеживающихся материалов. Получены обобщенные зависимости времени истечения материала из загрузочного бункера, амплитуды и частоты вибрации в зависимости от напряжения, позволяющие определить оптимальные значения параметров вибрации.

Ключевые слова: загрузочный бункер, вибрация, сыпучие материалы.

A. B. Golovanchikov, A. A. Shagarova, N. A. Prohorenko

EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL EFFECTS ON HOPPER'S WORK

Volgograd State Technical University

Address issues related to the behavior of bulk materials in hopper under the influence of vibration, developed methodology of experimental research and experimental setup. It is shown that the presence of vibration increases the efficiency of boot bins, especially when loading stucked together materials. Received generalized expiration time dependencies of material from the hopper, the amplitude and frequency of vibration depending on the voltage to determine the optimal values of vibration parameters.

Keywords: hopper, vibration, bulk materials.

Большинство установленных и проектируемых в настоящее время бункеров рассчитано на чисто гравитационный режим истечения сыпучих материалов. При складировании сухих и хорошо сыпучих материалов такой режим легко достижим и протекает без осложнений. При работе же со многими плохо сыпучими материалами (влажными, липкими, слеживающимися) весьма часты случаи нарушения работы бункеров, заключающиеся в образовании сводов над выпускным отверстием бункера, в ре-

зультате чего истечение материала частично или полностью прекращается. Другой причиной нарушения нормальной работы бункеров является образование пассивных зон, когда истечение материала происходит только из зоны, расположенной над выпускным отверстием (трубообразование), что может существенно уменьшить полезную емкость бункера.

Для интенсификации истечения материала из загрузочного устройства прибегают к различным средствам и устройствам: в первую оче-

редь стараются выбрать оптимальные соотношения между размерами элементов бункера, иногда добавляют вспомогательные вещества (примеси) к сыпучему материалу, встраивают в бункер статические элементы, широко применяют разного рода побудители [1, 2].

В течение последних десятилетий в России и за рубежом проводились работы по изысканию путей практического использования вибрационных эффектов в технологии полимеров. Целенаправленное вибрационное и импульсно-волновое воздействие вызывает в обрабатываемой среде ряд специфических эффектов и явлений. Они могут оказывать стимулирующее, интенсифицирующее и оптимизирующее воздействие на ход технологических процессов.

Под воздействием вибрации существенно уменьшается коэффициент внутреннего трения, что способствует лучшему истечению материала из загрузочного бункера [3].

Целью исследования стало установление закономерностей поведения сыпучего материала в загрузочных бункерах под воздействием вибрации. Для исследования движения сыпучих

материалов в загрузочном бункере при наложении вибрации разработана схема экспериментальной установки, приведенная на рис. 1, состоящая из бункера 1 с углом наклона стенок 65° и выпускным отверстием размером 10×10 мм, стоек 2, выполненных из профиля прямоугольного сечения, соединенных с помощью каркаса из металлического уголка, на котором закреплен бункер 1. Истечение материала из бункера 1 в сборный ящик 4 происходит при открытии планки перекрытия 3. Электродвигатель 5, установленный на виброплите 6, приводится в движение от электросети с установленным напряжением 130 В через ЛАТР 7. Во время работы двигателя, с установленным на маховике дисбалансированием, передает вибрацию через стойки 2 к бункеру 1.

Во время установившегося режима работы экспериментальной установки измерялись амплитуда и частота вибрации бункера 1 с последующим измерением времени ссыпания всего материала из бункера 1 в сборный ящик 4. Начало отсчета времени ссыпания устанавливается с момента сдвига планки перекрытия 3.

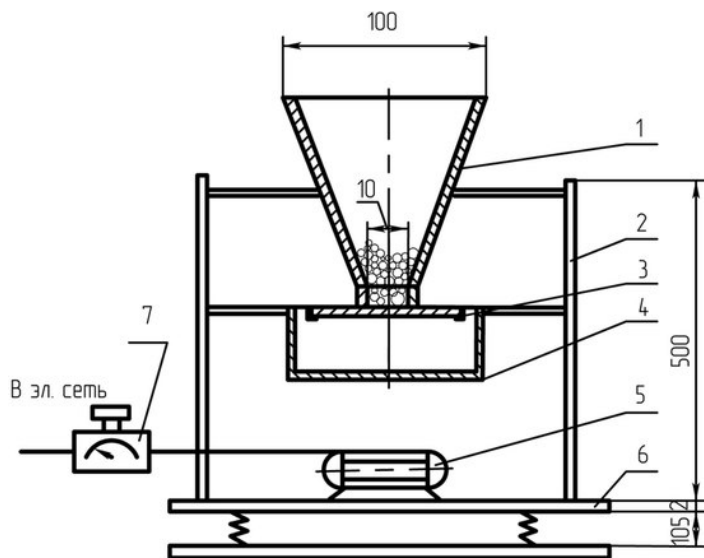


Рис. 1. Схема вибрационной экспериментальной установки:
1 – бункер, 2 – стойки, 3 – планка, 4 – емкость, 5 – электродвигатель, 6 – вибрационная плита, 7 – ЛАТР

В качестве модельной среды использовались гранулированный полиэтилен высокого давления и полиэтилен низкого давления. Предварительно определялись физические свойства сыпучих материалов. Исследования работы загрузочного бункера проводились без наложения вибрации, а затем с вибрацией.

Эксперимент проводился в диапазоне изменения напряжения в электрической цепи от 130 В

до 200 В. Фиксировались значения времени ссыпания всего материала из бункера в сборный ящик при варьировании амплитуды и частоты вибрации.

Экспериментальные данные представлены в виде графических зависимостей на рис. 2–4.

Показано, что наличие вибрации существенно уменьшает время истечения материала из загрузочного бункера примерно в 1,5 раза (рис. 2).

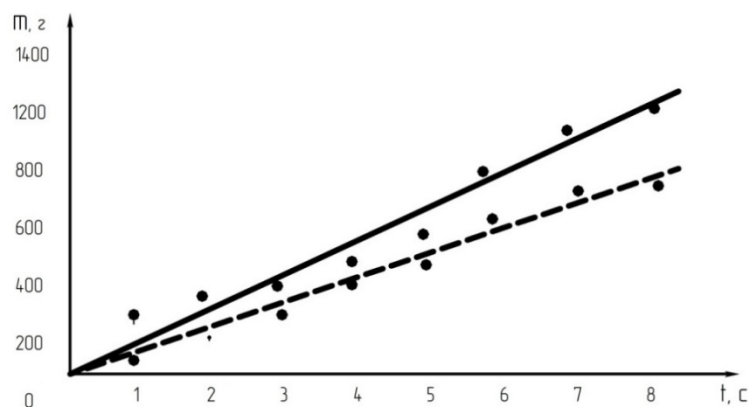
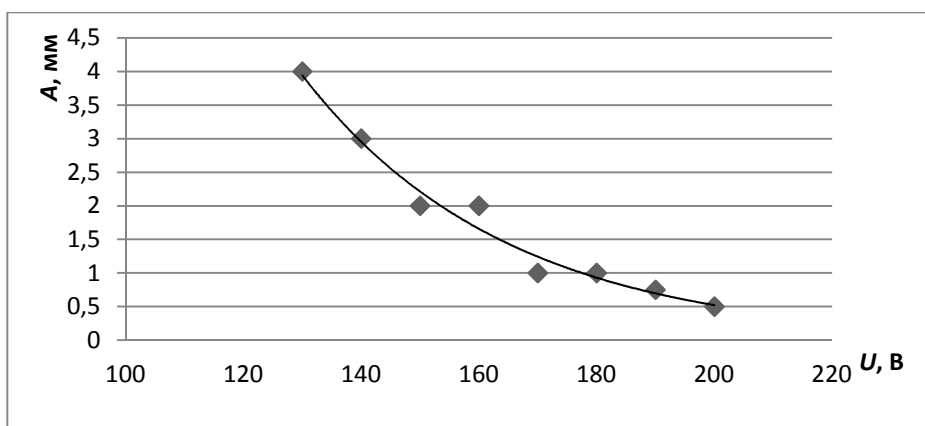
Рис. 2. Зависимость $m = f(t)$ для гранулированного материала

Рис. 3. График зависимости амплитуды вибрации от напряжения подаваемого на электродвигатель

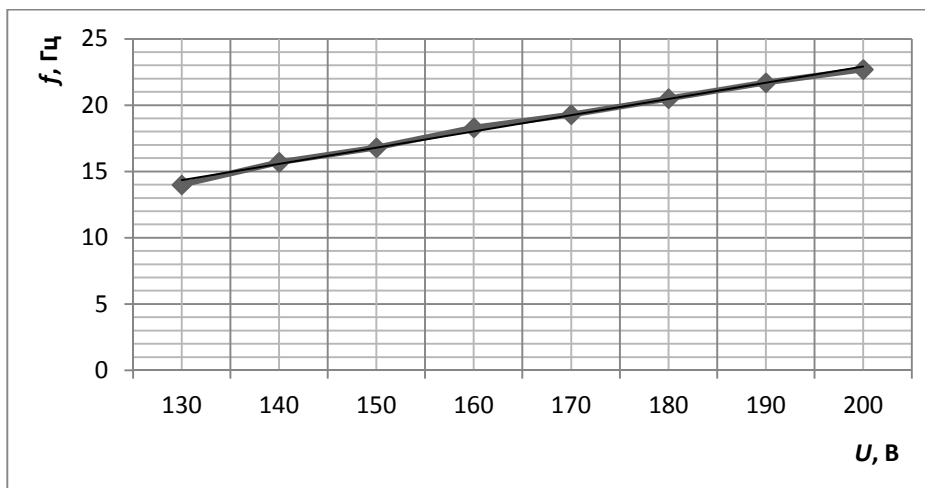


Рис. 4. График зависимости частоты вибрации от напряжения

Анализ графических зависимостей показывает, что при работе электродвигателя ПЛ-072 УЗ при подаваемом напряжении 170 В гранулы ПВД и ПНД начинают просыпаться непрерывно, то есть просыпание материала переходит в автотельный режим.

По результатам эксперимента определены оптимальные значения амплитуды вибрации

$A = 1$ мм и частоты вибрации $f = 19,3$ Гц, при которых обеспечивается постоянная подача гранул материалов ПВД и ПНД для бункера с углом наклона 65° с выпускным отверстием 10×10 мм.

К одному из факторов, снижающих производительность бункера относится неполная очистка поверхности бункера от сыпучих и связ-

ных материалов, особенно если они обладают хорошей адгезией к материалу стенки бункера.

Дальнейшим усовершенствованием конструкции вибрационного устройства для выпуска связных и слеживающихся материалов является разработка устройства, снабженного упругим рабочим органом, выполненным в виде герметичной камеры из эластичного материала [4].

Увеличение производительности достигается за счет увеличения амплитуды колебаний на всей поверхности загрузочного участка.

Выполнение упругого рабочего органа в виде герметичной камеры из эластичного материала, например, резины с цилиндром для подачи воздуха позволяет наполнять эту камеру воздухом с изменением формы поверхности эластичного материала, что уменьшает возможность зависания материала на этой поверхности и повышает производительность.

Для исследования влияния колебательного режима на поверхности герметичной камеры из эластичного материала за счет периодического изменения объема воздуха внутри герметичной камеры на бесперебойную работу бункера загрузки была создана в масштабе экспериментальная установка (рис. 5).

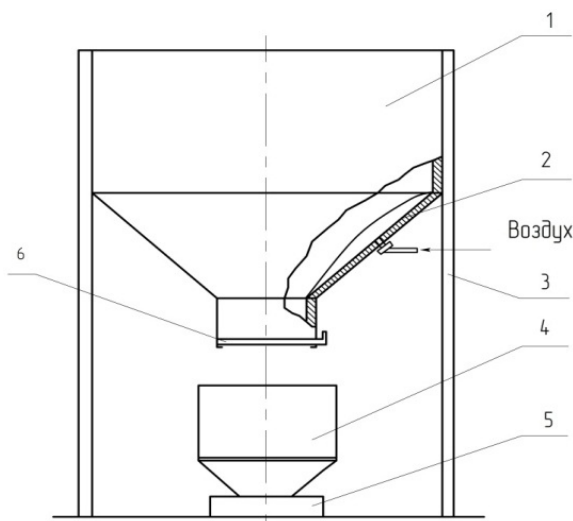


Рис. 5. Схема экспериментальной установки:
1 – бункер; 2 – герметичная камера; 3 – стойки;
4 – емкость; 5 – аналитические весы; 6 – планка

Экспериментальная установка состоит из загрузочного бункера 1, закрепленного на четырех стойках 3, служащих каркасом. Внутри бункера имеется герметичная камера 2, выполненная из эластичного материала (например, полиэтилена). Так как бункер имеет коническую форму, с каждой стороны стенки бункера имеется отверстие, через которое по трубкам

в пространство между стенками бункера и герметичной камерой подается воздух. Выпускное отверстие бункера перекрывается с помощью планки 6. Под выпускным отверстием бункера размещена емкость 4 для ссыпания материала, которая установлена на аналитические весы 5.

В качестве исследуемого материала использовался пульверизат алюминия дендритной формы (рис. 6).



Рис. 6. Исследуемый материал

Методика проведения эксперимента:

1. В загрузочный бункер 1, засыпается 1000 г. пульверизата алюминия;
2. Открывается планка 6;
3. Одновременно с открытием выпускного отверстия бункера, включается секундомер;
4. Фиксируется время ссыпания материала, через каждые 100 г;
5. По окончании эксперимента выключается секундомер;
6. Закрывается планка 6.

Эксперимент проводился в два этапа: без подачи сжатого воздуха в пространство между бункером и герметичной камерой и с подводом сжатого воздуха.

В ходе экспериментальных исследований наблюдалось образование сводов над выпускным отверстием бункера в застойных зонах, находящихся ближе к стенкам бункера. Своды обрушались в виде «лавин». В случае без подачи сжатого воздуха, обрушение происходило под собственные весовые смещения частиц друг относительно друга, в виде одной большой порции материала (рис. 7).

С подачей сжатого воздуха в пространство между бункером и герметичной камерой, обрушение материала происходило чаще в виде отдельных маленьких порций (рис. 8).

Данные экспериментальных исследований усреднялись по результатам трех опытов. По полученным результатам исследований, построен график зависимости массы просыпанного материала от времени $m = f(\tau)$ (рис. 9).



Рис. 7. Процесс проведения эксперимента

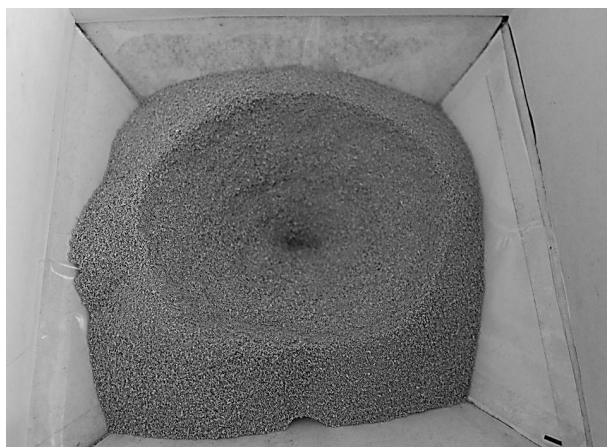
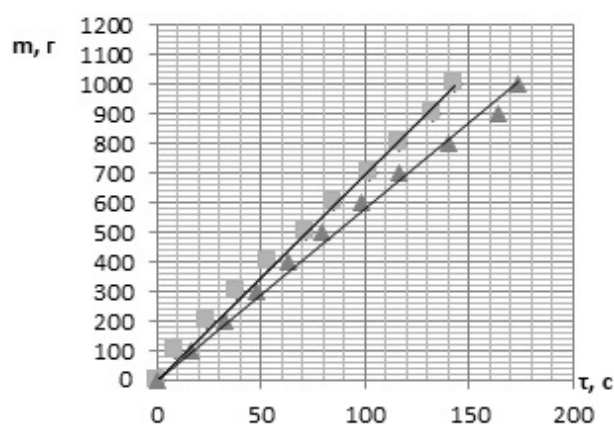


Рис. 8. Образование сводов в ходе эксперимента

Рис. 9. Экспериментальная зависимость $m = f(t)$:

■ – с подачей сжатого воздуха; ▲ – без подачи сжатого воздуха

От амплитуды, частоты и траектории колебательного движения зависят структура слоя, интенсивность взаимодействия между частицами и скорость их направленного перемещения в дозирующих системах.

Было проведено исследование вибровыпуска, где в качестве целевой функции была принята величина массового расхода, а независи-

мыми факторами являлись диаметр выпускного отверстия, амплитуда колебаний виброемкости, высота слоя материала и угол наклона днища.

Результаты исследований для pulverizata алюминия представлены на рис. 10.

Зависимость расхода тонкодисперсного материала, обладающего силами связности, отличается более сложной зависимостью от интенсивности вибрации. Вначале с ростом амплитуды происходит увеличение расхода, затем его резкое падение, после которого расход вновь увеличивается до определенного предела. С уменьшением амплитуды колебаний от ее верхнего предела наблюдается лишь непрерывное снижение расхода без повторного увеличения.

Визуальные наблюдения за потоком материала при его выпуске через выпускное отверстие бункера показали, что с ростом амплитуды колебаний происходит уменьшение диаметра струи материала. Происходит уменьшение эффективного диаметра выпускного отверстия. Данное явление связано с наличием противоточного фильтрования воздуха при вибровыпуске.

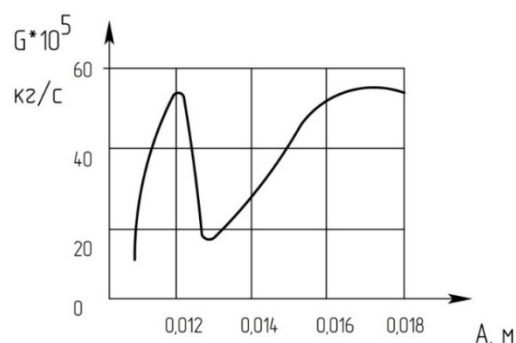


Рис. 10. Зависимость расхода pulverizata алюминия от амплитуды колебаний

По результатам эксперимента определены оптимальные значения амплитуды вибрации $A = 0,012$ м и частоты вибрации $f = 25,64$ Гц, при которых обеспечивается постоянная подача pulverizata алюминия.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает:

- при заполнении бункера на 30 % различие в получаемой массе сыпавшегося материала незначительно;
- при заполнении бункера порошком на 40 % и выше материал начинает застывать в застойных зонах;
- подача сжатого воздуха и деформирование герметичной камеры стимулируют движение материала, что позволяет получить увеличение производительности до 17,3 %.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования влияния механических воздействий на работу загрузочных бункеров показали, что наличие вибрации повышает эффективность их работы, особенно при загрузке связных и слеживающихся материалов в среднем на 13,6 %, а при подаче сжатого воздуха и деформировании герметичной эластичной камеры до 17,3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зенков, Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 222 с.
2. Раувендаль, К. Экструзия полимеров: пер. с англ. / К. Раувендаль; под ред. А. Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с.
3. Шагарова, А. А. Экспериментальные исследования работы зоны загрузки шнековых машин в процессе вибрации / А. А. Шагарова, А. П. Шапошников, Н. А. Прохоренко, М. К. Доан // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (128) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 8). – С. 87–90.
4. Пат. м. 153117 Российская Федерация, МПК В65G27/10. Вибрационное устройство для выпуска связных, липких и слеживающихся материалов / Голованчиков А. Б., Шагарова А. А., Прохоренко Н. А.; заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – № 2015100430/11, заяв. 12.01.2015; опуб. 10.07.2015.

УДК 54:539.183.2+66:539.183.2

Ю. В. Пастухов

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНФРАСТРУКТУРЕ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА (обзорная статья)

АО «Титан-Изотоп»

Дана историческая справка о предтече открытий: электромагнитного ионизирующего излучения – рентгеновского и гамма-квантов; явления радиоактивности, природных и техногенных радионуклидов. Проведен обзор ядерно-физических методов, которые нашли разнообразное применение во многих отраслях промышленности, нефтехимии, медицине и сельскохозяйственном производстве. Не только дозиметры и радиометры для измерения ионизирующих излучений в целях радиационной безопасности, но и в качестве различных приборов и систем технологического контроля. Ионизирующее излучение для проведения радиационных технологий. В качестве инструмента для проведения исследований во многих областях науки и техники нашли применение «меченые» атомы, радионуклидная дефектоскопия, гамма-, бета-толщинометрия, радионуклидная диагностика, активационный анализ и другие еще не реализованные в полной мере перспективные решения с применением радионуклидов и ионизирующих излучений. Как обязательное, показаны моменты радиационной безопасности.

Ключевые слова: Химия, фотография, рентген, Беккерель, Пьер Кюри, Мария Кюри-Склодовская, радиоактивные элементы, ионизирующее излучение, меченые атомы, радиационные технологии, радиоизотопные приборы, химия, нефтехимия, нефтегазодобыча, газопереработка, радионуклидная диагностика, коррозионные исследования и мониторинг, радиоактивные загрязнения, радиационная безопасность.

Yu. V. Pastukhov

NUCLEAR AND PHYSICAL METHODS IN INFRASTRUCTURE PETROCHEMICAL AND GAS PROCESSING PLANT

JSC «Titan-Izotop»

The historical information on the forerunner of opening is given: an electromagnetic ionizing radiation – x-ray and scale-quantums; the phenomena of a radio-activity, natural and technogenic radionukliding. The review of nuclear-physical methods which have found varied application in many industries, petrochemistry, medicine and an agricultural production. Not only dosimeters and radiometers for measurement of ionizing radiation with a view of a radiating security, but also as various devices and systems of the technological control. An ionizing radiation for carrying out of radiating technologies. As the tool for carrying out of researches in many areas of a science and technics have found application «instan» atoms. Radionukliding diagnostics. Scale, a beta-measurement of thickness. Neutron the analysis. And others still the perspective decisions not realized to the fullest with application radionuk-liding and ionizing radiation. And as mandatory, instants of a radiating security are shown.

Keywords: Chemistry, photo, X-ray, Becquerel, Pierre Curie, Maria Curie-Sklodovskaya, radioactive elements, ionizing radiation, marked atoms, radiation technologies, radio isotope devices, chemistry, petrochemistry, oil and gas production, gas processing, radio nuclide diagnostics, corrosion researches and monitoring, radioactive pollution, radiation safety.

Алхимия, набрав «критическую» массу случайного экспериментального материала, стала структурироваться в химическую науку и, заявив своими достижениями, выросла в отдельную область естествознания. Химия в процессе своего развития дала начало многим научным самостоятельным направлениям, в том числе формировала эффективный «инструмент» для выявления новых эффектов и открытий в других областях знаний.

В «недрах» химических исследований обнаружен фотографический эффект, явившийся инструментом обнаружения ионизирующих излучений, радиоактивных веществ. Исследования в области взаимодействия ионизирующих излучений с веществом (его преобразованием) дали начало новому направлению – радиационная химия. Исследование механизмов преобразования излучений в системе «вещество – ионизирующее излучение» позволило разработать радиоизотопные приборы (РИПы). Химия, химическая промышленность получили новые технологии, приборы и системы технологического контроля. Радиоактивные изотопы – «меченые атомы» – явились незаменимым «инструментом» в химических исследованиях, в том числе в условиях производства.

Историческая справка. Вильгельм Конрад Рентген опубликовал в 1895 г. статью «О новом типе лучей» [1, 2]. Антуан Анри Беккерель в 1896 г. обнаружил лучи сильной проникающей способности [2, 3, 4, 5]. Супругами Пьером Кюри и Марией Кюри-Склодовской были открыты новые радиоактивные элементы [2, 3]. Этими открытиями было положено начало новой эры в науке.

Впоследствии была показана электромагнитная природа рентгеновских лучей и лучей, обнаруженных Беккерелем.

В обнаружении электромагнитного ионизирующего излучения: рентгеновского и гамма-квантов, немаловажную роль сыграло то, что был найден способ превращения оптического изображения в химический процесс.

Занимаясь в 1725 г. составлением жидких лечебных смесей, Бестужев-Рюмин обнаружил [6], что под воздействием солнечного света растворы солей железа изменяют цвет.

«Мы живем в радиоактивном Мире и он, наш Мир, такой от природы, и, в некоторой степени, от нас с Вами, от людей, от уровня культуры, знаний и отношения к нашему Миру, к Миру, в котором Мы живем»

На основе своих собственных исследований и опытов Нисефора Ньепса французскому изобретателю Луи Дагеру удалось сфотографировать человека и получить устойчивое фотоизображение [7].

Лучи Рентгена (рентгеновское излучение, генерируемое электрическим устройством). В своих опытах с разрядной трубкой Рентген обнаружил, что излучение проходит через многие непрозрачные вещества, вызывает почернение фотопластинок, завернутой в черную бумагу или даже помещенной в металлический футляр. Рентген понял возможности своего открытия: «Если держать руку между разрядной трубкой и экраном, – писал он, – то видны темные тени костей на фоне более светлых очертаний руки». Это было **первое в истории рентгеновское исследование**.

Новые лучи стали исследовать во всем мире, только за один год на эту тему было опубликовано свыше тысячи работ. Несложные по конструкции рентгеновские аппараты появились и в госпиталях. Медицинское применение новых лучей было очевидным.

Лучи Беккереля (гамма-кванты, порождаемые радиоактивным распадом ядер). Открытие Рентгена вскоре привело к не менее выдающемуся открытию. Его сделал в 1896 г. французский физик Антуан Анри Беккерель.

Беккерель начал ставить множество опытов, чтобы лучше понять условия, при которых появляются лучи, засвечивающие фотопластинку, и исследовать свойства этих лучей. Беккерель обнаружил по почернению фотопластинок испускание солью урана (и самим ураном) невидимых лучей сильной проникающей способности [5; 8].

В настоящее время рентгеновское, гамма-, бета- и альфа-ионизирующие излучения, широко используются во всем мире, и значительная часть работ выполняется в медицинских целях [9].

Радионуклиды природные и искусственные. Ионизирующее излучение. Мария Склодовская-Кюри и Пьер Кюри выделили из уранового минерала два новых вещества, радиоактивных в гораздо большей степени, чем уран и торий. Так были найдены в 1898 г. природные

радионуклиды полоний и радий [1]. Эти два исследования положили начало целому ряду открытий природных радионуклидов.

В дальнейшем были созданы искусственные радионуклиды, получаемые облучением различных химических элементов альфа-частицами или нейтронами [10].

В настоящее время известно более 2000 искусственных радионуклидов [11–13]. Природных радионуклидов известно 60 [12].

Новые перспективы, возникшие в энергетике, промышленности, военной области, в медицине и других областях человеческой деятельности стали возможными после таких открытий, как рентгеновское излучение, радиоактивность, радионуклиды, гамма-излучение, альфа- и бета-частицы. Все это ознаменовало начало эпохи интенсивного изучения свойств и структуры веществ.

Во всемирной истории было мало случаев, когда для развития техники существовало такое обилие возможностей для применения радиоактивных изотопов и ионизирующих излучений в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Безусловно, каждый человек, знакомый с техникой и со свойствами изотопов, может придумывать, по меньшей мере, одно новое применение каждые пять минут [14].

Искусственные радионуклиды нашли широкое применение в науке, технике, медицине, промышленности, геологии и гидрогеологии [15], сельском хозяйстве. Основные области использования искусственных радионуклидов: лучевая терапия, неразрушающий контроль качества изделий, слежение за ходом технологических процессов, радиационная технология. Широко распространены также метод меченых атомов [16].

Ионизирующие излучения (рентгеновское, гамма-кванты, бета-излучение) нашли применение в различных сферах человеческой деятельности:

1. **Радиационные технологии** [17]: в химии, химической промышленности, медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве [2] и других сферах.

2. **Для диагностических целей** разработаны и применяются методики и приборы, применяющие гамма- и рентгеновское излучение [18, 19].

Радиоактивные изотопы (радионуклиды, «меченые» атомы) нашли непосредственное применение в исследованиях [11, 20], диагностике, дефектоскопии [20, 21], в качестве источников энергии и тепла [16, 20].

Метод меченых атомов. Искусственно получаемые радиоактивные элементы нашли широкое применение в науке и технике. Одним из методов, позволяющих на практике использовать свойства радиоактивных элементов, является так называемый метод меченых атомов, который существенно расширил возможности научных исследований [16, 20–22] и позволил установить новые закономерности в различных отраслях науки и техники.

Метод меченых атомов (метод радиоактивных индикаторов) был предложен Д. Хевеши и Ф. Панетом еще до Первой мировой войны (1913 год). Определяя растворимость солей свинца, они использовали радиоактивный изотоп этого элемента [3].

Данный метод использует тот факт, что по химическим и многим физическим свойствам радиоактивный изотоп неотличим от устойчивых изотопов того же элемента. В процессе проведения исследований радиоактивный изотоп (радионуклид) легко может быть опознан по своему излучению (определяют энергию и интенсивность излучения, по энергии идентифицируют радионуклид). Добавляя к исследуемому элементу радиоактивный изотоп и измеряя в дальнейшем его излучение, мы можем проследить путь этого элемента в организме, в химической реакции, при плавке металла и т. д.

Метод эманации, физико-химический метод исследования твердых тел, основанный на их способности выделять (предварительно введенные) радиоактивные инертные газы, например, (эманировать) в окружающую среду изотопы радиоактивного инертного газа радона (эманации). Выделение эманации зависит от структуры твердого тела, уровня дефектности и других факторов, определяющих скорость диффузии [3, 23].

Радионуклиды (радиоактивные изотопы) используются как радиоактивные индикаторы. Ионизирующее излучение (гамма-кванты, бета- и альфа-частицы) служит только для обнаружения скопления, места нахождения, распределения, перемещения радиоактивных изотопов (отображающих атомы, молекулы и более крупные объекты) и измерения их концентрации [3, 12, 24, 25]. Для использования радиоактивных изотопов в качестве индикаторов требуется сравнительно малое количество вещества. Это упрощает задачу защиты от излучения. Измерения проводят дистанционно или методом отбора проб.

Метод меченых атомов используется в аналитической практике, позволяет судить о поведении элементов в различных химических, биологических и других процессах. Исследования обеспечиваются наличием большого числа долгоживущих (искусственно получаемых) радионуклидов, удобных для измерения их радиоактивности. Измерения проводят с применением приборов: гамма-, альфа-, бета-радиометров и спектрометров.

Области применения метода меченых атомов

Меченые атомы широко используются: в химическом анализе [3], химических исследованиях [26–28], в области физической химии, электрохимии [20], в химической промышленности [3, 29], в горном деле [3], в тяжелой и металлургической промышленности [3], в электропромышленности [3], в текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности [3], в силикатной промышленности [3], в резинотехнической промышленности и производстве пластмасс [3], в производстве моющих средств [3], в фармацевтической промышленности и в производстве продовольственных товаров [3], в сельском хозяйстве [2, 3, 30], медицине, биологии [30], экологии, криминалистике и многих других отраслях человеческой деятельности. Радиоизотопная продукция в виде радионуклидов и меченых соединений производится подразделениями РосАтома, применяемых в медицине, фармакологии, сельском хозяйстве и различных отраслях промышленности.

Варианты применения радиоактивных изотопов в химическом анализе [3, 20, 31]

1. Определение естественно-радиоактивных элементов.
2. Индикаторный анализ.
3. Анализ при помощи радиоактивных реактивов.
4. Исследование растворимости труднорастворимых соединений.
5. Исследование процессов диффузии.
6. Изучение процессов радикальной (со)полимеризации.
7. Метод изотопного разбавления.
8. Активационный анализ для определения следовых количеств вещества в различных материалах.
9. Анализы, основанные на поглощении и рассеянии ионизирующего излучения.

Радиоактивные изотопы в химической промышленности [3, 20, 32–35]

1. Определение физико-химических величин.

2. Пути протекания реакций.

3. Применения ионизирующего излучения для запуска химических реакций и изменения физических свойств твердых тел.

4. Техника производственных операций.

5. Промышленная гигиена.

6. Обнаружение повреждений газопроводов, нефтепроводов (утечки).

7. Контроль герметичности изделий.

8. Исследование процессов коррозии.

Применение радиоактивных изотопов для изучения износа деталей машин имеет следующие достоинства [20, 30]:

1. Высокая чувствительность.

2. Возможность одновременного измерения износа нескольких деталей в процессе их работы, без разборки машины и нарушения режима работы.

3. Удобство автоматической записи процесса износа.

4. Применение радиографии для изучения явлений переноса металлов, диффузионных и других сопутствующих процессов.

Для обеспечения радиационной безопасности при проведении работ с активированными материалами и изделиями с целью определения их износа и коррозии разработаны Санитарные правила СП 2.6.4.1115-02 и утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ.

Метод меченых атомов в нефтегазодобыче. Экологический контроль межколонных проявлений в скважинах с применением радиоактивных изотопов [36]. Контроль скорости коррозии в условиях нефтепромысла [37–39]

Активационный анализ [17]. Технический прогресс предъявляет все более высокие требования к чистоте материалов, применяемых в промышленности и научных исследованиях, требует сокращения времени, затрачиваемого на проведение элементного анализа. Этим требованиям наиболее полно отвечает использование пучков заряженных частиц, гамма-квантов и нейтронов. Время проведения анализа меньше времени проведения соответствующего химического или количественного спектрального анализа. Так, нейтронными методами можно определить некоторые элементы в разрезах скважин и положение водонефтяного и газожидкостного контакта.

Распространение ядерно-физических методов с использованием ионизирующего излучения и радионуклидов привело к изменениям в организации исследований.

Применение радиоактивных изотопов для проведения измерений и контроля технологических процессов

Автоматизация производственных процессов в различных отраслях народного хозяйства вызвала необходимость применения большого количества контрольно-измерительных приборов, в том числе и радиоизотопных [40].

Задачи, решаемые с помощью этих приборов, весьма разнообразны.

Радиоизотопные приборы (РИП), принцип работы которых основан на взаимодействии ионизирующего излучения с веществом (контролируемым объектом), являются наукоемкой продукцией.

Главными эффектами, на которых основаны измерения радиоизотопными приборами, являются [40]: поглощение излучения веществом; рассеяние излучения веществом; ионизация вещества излучением; инициирование ядерных реакций или рентгеновского излучения элементов; определение измеряемой величины по интенсивности излучения естественного радионуклида, входящего в состав контролируемого объекта.

В радиоизотопных приборах используются все виды излучения: альфа, бета, гамма и нейтронное.

Широкое внедрение в практику радиоизотопных приборов (РИП) обусловлено, прежде всего, их бесконтактностью, высоким быстродействием, непрерывностью и точностью измерений, а также возможностью использования для контроля твердых, жидких, газообразных, химически агрессивных, взрывоопасных и других сред.

Известно более 15 видов РИП, количество типов которых превысило 150 [20], например: 1. Релейные приборы. 2. Бесконтактное измерение толщины движущихся лент. 3. Измерение толщины покрытий. 4. Измерение толщины стенок трубопроводов. 5. Измерение плотности жидких и газообразных сред. 6. Радиоизотопные влагомеры. 7. Радиоизотопные анализаторы. 8. Измерение уровня жидкости или границы раздела сред. 9. Радиационный контроль за окружающей средой. 10. Радиоизотопные переносные концентратометры пыли.

Около 100 тыс. радиоизотопных приборов технологического контроля различного назначения выпускает ежегодно промышленность России [16].

Многолетний опыт эксплуатации данного вида техники показывает, что РИП являются высокоэффективными средствами неразрушаю-

щего контроля (НК) и автоматизации производственных процессов, а в ряде случаев единственно возможными для реализации определенного вида задач контроля [20]. Исследовательские работы по использованию радиационных методов измерений, контроля и анализа ведутся более чем по тридцати различным направлениям [20].

Дефектоскопия. При изготовлении машин, аппаратов и другого технологического оборудования, работающих при больших статических и динамических нагрузках необходимо применять надежные методы контроля качества указанных изделий. Одним из эффективных (неразрушающих) методов контроля дефектов различных деталей, материала оборудования, трубопроводов и сварных швов является радионуклидная [20] и рентгеновская дефектоскопия. В радионуклидной дефектоскопии используют излучение радионуклидов: кобальт-60, цезий-137, иридий-192 и др. Около 10000 штук различных модификаций гамма-дефектоскопов используется при строительстве магистральных газо- и нефтепроводов [16] и в лабораториях радионуклидной дефектоскопии других предприятий.

Проблемы радиационной безопасности при использовании радионуклидов и ионизирующих излучений, и основы радиационной защиты изложены в литературе [4, 41–44].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Открытие рентгеновских лучей – Великие физики [Электронный ресурс] / – [2012]. – Режим доступа: <http://www.phisiki.com/2012-02-28-10-51-54/98-otkritie-luchey>.
2. Каушанский, Д. А. Атом и сельское хозяйство / Д. А. Каушанский. – М.: Колос, 1981. – С. 11.
3. Брода, Э. Применение радиоактивности в технике / Т. Шенфельд; перевод с нем. / С. М. Райского. – М.: Государственное изд-во физ.-мат. Литературы, 1959. – С. 13.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риск: перевод с англ. Ю. А. Банникова. – М.: «Мир», 1990. – С. 9–10.
5. Беккерель, Анри (1852–1908 гг.) [Электронный ресурс] / – Режим доступа: http://www.e-reading.by/chapter.php/1028159/65/100_znamenityh_ucheniy.html.
6. Открытие фотографии – Великие физики [Электронный ресурс] / – [2012]. – Режим доступа: <http://www.phisiki.com/2012-02-28-10-51-54/40-otkritie-fotografii>.
7. Беккерель, Антуан Анри [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://unnatural.ru/antoine-beccquerel>.
8. Применение радиоактивных изотопов [Электронный ресурс] / – Режим доступа: otherreferats.allbest.ru/physics/00136949_0.html.
9. Производство изотопов: сб. статей / под ред. В. В. Бочкарева. – М.: Атомиздат, 1973. – 597 с.
10. Радиоактивные индикаторы в химии / В. Б. Лукьянов [и др.]. – М.: «Высшая школа», 1975. – С. 14.

11. Заборенко, К. Б. Применение метода радиоактивных индикаторов в народном хозяйстве / К. Б. Заборенко. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 9.
12. Гродзенский, Д. Е. Изотопы в биологии и в медицине / Д. Е. Гродзенский. – М.: Атомиздат, 1969. – С. 17.
13. Либби, У. Достижения в использовании изотопов. Атомная триада – Реакторы, радиоактивные изотопы и излучения / У. Либби // Получение и применение изотопов: избр. доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева–1958). – М.: ГУ по исп. АЭ, 1959. – С. 182.
14. Радиоизотопные методы исследования в инженерной геологии и гидрогеологии / В. И. Ферронский [и др.]. – М.: Атомиздат, 1968. – 304 с.
15. Радионуклиды и их применение в народном хозяйстве – FSHQ [Электронный ресурс] / –Режим доступа: http://fshq.ru/Radionuclides_and_their_application_in_the_national.
16. Высокие технологии с использованием источников излучений в промышленности: учеб. пособие / Ю. Д. Козлов [и др.]; под ред. Ю. Д. Козлова. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 715 с.
17. Гамма-толщиномеротражательный переносной TOP-3 / Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1974. – 33 с.
18. Радиационная техника. – М.: Атомиздат, 1980. – Вып. 19. – 224 с. (Вопросы атомной науки и техники).
19. Проблемы производства и применения изотопов и источников ядерного излучения в народном хозяйстве СССР: тез. докл. (Ленинград, 28–30 нояб. 1988 г.). – М.: ЦНИИАтоминформ, 1988. – 255 с.
20. Безопасность труда в радиационной дефектоскопии / О. Ф. Партолин [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 169 с.
21. Меченые атомы [Электронный ресурс] / – Режим доступа: o8ode.ru/article/oleg/metod_me4enyh_atomov.htm.
22. Несмеянов, А. Н. Прошлое и настоящее радиохимии / А. Н. Несмеянов. – Л.: Химия, 1985. – 150–151.
23. Торопчинов, А. Н. Радиоактивные индикаторы в исследованиях на железнодорожном транспорте / А. Н. Торопчинов, Г. М. Тихонов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 84 с.
24. Постников, В. И. Радиоактивные изотопы в исследовании и автоматизации контроля за износом / В. И. Постников. – М.: Машиностроение, 1967. – 140 с.
25. Радиоактивные изотопы в химических исследованиях / В. Д. Нефедов [и др.]; под ред. А. Н. Мурина. – Л.: Химия, 1965. – 300 с.
26. Нейман, М. Б. Применение радиоактивных изотопов в химической кинетике / М. Б. Нейман, Д. Гал. – М.: Наука, 1970. – 239 с.
27. Фиалков, Ю. Я. Применение изотопов в химии и химической промышленности / Ю. Я. Фиалков. – Киев.: Техніка, 1975. – 240 с.
28. Применение изотопов в технике, биологии и сельском хозяйстве : докл. Советской делегации на международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева–1955). – М.: Академия наук СССР, 1955. – 466 с.
29. Гусев, Г. Г. Тритий в органической химии / Г. Г. Гусев, Ю. М. Капустин. – М.: Атомиздат, 1966. – 78 с.
30. Пастухов, Ю. В. Оценка скорости коррозии в промышленных условиях / Ю. В. Пастухов // Хим. пром. – 1992. – № 10. – С. 57–61.
31. Пастухов, Ю. В. Метрологические характеристики первичных измерительных преобразователей, содержащих радионуклидную метку / Ю. В. Пастухов, О. П. Сидельникова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 (51) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь»; вып. 3). – С. 73–78.
32. Константинов, И. О. Дистанционный радиометрический способ контроля коррозии оборудования в производственных условиях / И. О. Константинов, В. В. Малухин, В. М. Новаковский // Защита металлов. – 1977. – № 5. – С. 523.
33. Чемоданов, А. Н. Радиометрический метод исследования коррозионных процессов / А. Н. Чемоданов, Я. М. Колотыркин // Итоги науки и техники. (Сер. «Коррозия и защита от коррозии»). – М.: ВИНТИ, – 1981. – Т. 8. – С. 102–154.
34. Совершенствование методов экологического контроля межколонных проявлений в скважинах АГКМ / В. Г. Тихонов [и др.] // Экологические аспекты разработки Астраханского газоконденсатного месторождения : труды «АстраханьНИПИгаза». – Астрахань, 1996. – С. 68–71.
35. Пастухов, Ю. В. Контроль скорости коррозии стального образца из материала ст. 3 в условиях нефтепромысла методом радиоактивных индикаторов / Ю. В. Пастухов, М. А. Дембровский // Экономия черных металлов в промышленности и строительстве. – Волгоград, 1978. – С. 131–133.
36. Пастухов, Ю. В. Контроль скорости коррозии стального образца (ст. 3) в условиях нефтепромысла методом радиоактивных индикаторов / Ю. В. Пастухов, М. А. Дембровский // Информационный листок № 518–78. – Волгоград : ЦНТИ, 1978. – 4 с.
37. Pat. 3.348.052 United States, 250–106. Monitoring corrosion rates by means of radioactive tracers / P. J. Raifsnider; 1962.
38. Pat. 3.101.413 United States, 250–106. Monitoring corrosion rates by means of radioactive tracers / P. J. Raifsnider; 1962. Пат. США, Кл. 250–106 / E. Schaschl, R. L. Litter; 1959.
39. Гельфанд, М. Е. Радиоизотопные приборы и их применение в промышленности / М. Е. Гельфанд, В. М. Калошин, Г. Н. Ходоров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 221 с.
40. Gollnick, D. A. Basic radiation protection technology / D. A. Gollnick ;Printed in the States of America, 2013. – 889 с.
41. Защита от ионизирующих излучений / Н. Г. Гусев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 510 с.
42. Сидельникова, О. П. Радиационная безопасность в зданиях: справочник / О. П. Сидельникова, И. В. Стефаненко, П. Э. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 327 с.
43. Пивоваров, Ю. П. Радиационная экология / Ю. П. Пивоваров, В. П. Михалев. – М.: Академия, 2004. – 239 с.

УДК 620.9:662.92

*И. А. Коптелова¹, Н. В. Арванитаки²***ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**¹Волгоградский государственный технический университет²РусГидро Корпоративный Университет Гидроэнергетики

В статье приведен анализ существующих методов комплексной оценки энергоэффективности систем энергоснабжения. На основе анализа предложен метод расстановки приоритетов, который дважды использует парные сравнения. Этот метод позволяет уменьшить влияние субъективного фактора на выбор мероприятия по повышению энергоэффективности.

Ключевые слова: системы энергоснабжения, энергоэффективность, энергосбережение, теория принятия решений.

*I. A. Koptelova¹, N. V. Arvanitaki²***THEORY OF DECISION-MAKING TO IMPROVE
THE EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS**¹Volgograd State Technical University²RusHydro Corporate University Hydropower

The article provides an analysis of existing methods for assessing energy efficiency of energy supply systems. A method based on analysis of prioritization, which uses two paired comparisons. This method can reduce the influence of the subjective factor in the selection of energy efficiency measures.

Keywords: power systems, energy efficiency, decision theory.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем энергетики является задача повышения энергоэффективности систем энергоснабжения предприятий. Получение обобщенных показателей качества электроснабжения, характеризующих уровень энергетической эффективности, является довольно сложной задачей из-за сложности ее формализации и наличия неразрешимых противоречий. Поэтому поиск компромисса связан с решением сложных многоцелевых оптимизационных задач. Интегральная оценка энергоэффективности предприятия позволяет оценить потенциал энергоэффективности и является основой для создания системы энергоменеджмента на предприятии.

Для получения обобщенных показателей качества электроснабжения необходим метод комплексной оценки энергетической эффективности систем энергоснабжения. Однако методов комплексной оценки энергетической эффективности систем энергоснабжения сравнительно мало. Анализ потенциала мероприятий по энергосбережению с помощью частных показателей энергоэффективности не позволяет получить системные оценки. Поэтому для разработки метода комплексной оценки необходим анализ существующих методов и методик, которые используются для оценки энергосберегающих мероприятий, и выбор или разработка метода удовлетворяющего поставленной задаче.

Рассмотрим общую методику оценки эффективности работ по энергосбережению через удельный расход энергии на единицу продукции (энергоемкость продукции) [1].

1. Эффективность отдельного энергосберегающего мероприятия (т у.т., кВт·ч, ГДж) определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_m = (\delta_1 - \delta_2) \Pi_2, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_m$ – эффект в материальной (энергетической) форме; δ_1, δ_2 – удельный расход энергии (ТЭР) в т у.т. или кВт·ч на единицу продукции до и после осуществления мероприятия, изменение которого вызвано данным мероприятием; Π_2 – объем годового выпуска продукции после осуществления мероприятия, выраженный в ед. продукции.

2. Экономическая эффективность, руб./год

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_m \cdot \Pi = (\delta_1 - \delta_2) \Pi_2 \Pi, \quad (2)$$

где Π – цена (тариф) энергоресурса, руб./т у.т., руб./ГДж, руб./кВт·ч и др.

3. Срок простой (без учета дисконтирования) окупаемости затрат на реализацию мероприятий по энергосбережению $T_{ок}$ (год) определяется следующим образом:

$$T_{ок} = \frac{Z_m}{(\delta_1 - \delta_2) \Pi_2 \Pi}, \quad (3)$$

где Z_m – затраты денежных средств, израсходованных (планируемых) для реализации мероприятия, руб.

4. Относительная эффективность в денежной форме, руб./руб.:

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{\mathcal{E}_m \Pi}{Z_m} = \frac{Z_m}{(\delta_1 - \delta_2) \Pi_2 \Pi} \quad (4)$$

В советское время $\mathcal{E}_{уд} = E_0 = 0,125$, то есть $T_{ок} = 8$ лет.

Сейчас считается, что энергосберегающие мероприятия обеспечивают соответствующую эффективность, если относительный эффект $\mathcal{E}_{уд}$ составляет на рубль вложений: до 1 руб. – низкую; от 1 до 2 – среднюю; более 2 – высокую («короткие деньги»).

С учетом полученных результатов можно сформулировать выводы о показателях энергетической и экономической эффективности разработанной новой технологии, оборудования, систем управления и т. д.

Вывод: Этот широко известный метод позволяет определять общую эффективность для простых задач анализа, однако для многокритериальной оценки эффективности этот метод не применим.

Метод комплексной оценки [2]. Этот метод был использован при анализе эффективности газификации административно-территориальных образований. Этот метод основан на использовании следующих частных показателей: уровень газификации территориального образования – Y_{1n} , количество газифицированных населенных пунктов – Y_{2n} , протяженность существующих газопроводов – Y_{3n} , число установленных газовых плит – Y_{4n} , количество водонагревательных и отопительных агрегатов – Y_{5n} , число негазифицированных населенных пунктов – X_{1n} , количество обслуживающего персонала – X_{2n} , численность населения – X_{3n} . Выбор частных критериев обусловлен их использованием поставщиками газа при определении степени газификации муниципальных районов.

На основе частных показателей и использования методологии DEA сформирован обобщенный критерий. Критерий оценки эффективности энергоснабжения n -го территориального образования газовым топливом в виде максимизируемого функционала, как отношения взвешенной суммы показателей газоснабжения – Y_{1n}, Y_{2n}, Y_{3n} , прямым образом влияющих на эффективность газоснабжения, к взвешенной сумме характеристик – X_{1n}, X_{2n} знаменателя, обратным образом влияющих на величину максимизируемого функционала

$$f_{1n} = \max_{u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, v_{1n}, v_{2n} \in G} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n}} \quad (5)$$

Обобщенный критерий эффективности газоснабжения f_{1n} сконструирован в соответствии с возрастанием его значений при увеличении уровня газификации Y_{1n} , числа газифицированных пунктов Y_{2n} , протяженности газопроводов Y_{3n} и при уменьшении количества негазифицированных населенных пунктов X_{1n} , и численности обслуживающего персонала X_{2n} . Функционалы (1) формируются для каждого из n муниципальных районов и для 7 городских округов. Для ранжировки территориальных образований по обобщенному критерию эффективности газификации сформирован базовый район (район-индикатор) с $n = 1$, показатели газоснабжения которого отвечают нормативным значениям газификации. В соответствии с этим функционал f_{1n} конструируется для n объектов – территориальных образований газоснабжения. Следовательно, в (1) $n = 1, 2 \dots 35$.

Положительные весовые коэффициенты $u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, v_{1n}, v_{2n}$, определяющие ранги частных показателей газоснабжения $Y_{1n}, Y_{2n}, Y_{3n}, X_{1n}, X_{2n}$, при конструировании обобщенных критериев $f_{1n}, n = 1, 2 \dots 35$, полагаются неизвестными. Их величины отыскиваются из условий наложения ограничений на область G значений весовых коэффициентов $(u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, v_{1n}, v_{2n}) \in G$, определяемую системой n неравенств, отвечающих нормированию обобщенных показателей газоснабжения районов на интервале $[0; 1]$

$$\begin{aligned} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1_1} + u_{2n} \cdot Y_{2_1} + u_{3n} \cdot Y_{3_1}}{v_{1n} \cdot X_{1_1} + v_{2n} \cdot X_{2_1}} &\leq 1 \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1_2} + u_{2n} \cdot Y_{2_2} + u_{3n} \cdot Y_{3_2}}{v_{1n} \cdot X_{1_2} + v_{2n} \cdot X_{2_2}} &\leq 1 \\ &\dots \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1_{35}} + u_{2n} \cdot Y_{2_{35}} + u_{3n} \cdot Y_{3_{35}}}{v_{1n} \cdot X_{1_{35}} + v_{2n} \cdot X_{2_{35}}} &\leq 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Система соотношений (1) и (2) для $n = \{1, 2 \dots 35\}$ определяет n задач нелинейного математического программирования. Решение n -задач дает значения обобщенной эффективности газоснабжения n -ой территории, – f_n , определенные на единичном интервале $[0,1]$, и соответствующие им весовые коэффициенты $u_n = \{u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}\}$, $v_n = \{v_{1n}, v_{2n}\}$, максимизирующие функционал (5).

Вывод: Основу данного метода составляет обобщенный максимизирующий функционал, который является интегрирующим показателем и не позволяет провести сравнительный анализ по отдельным показателям и соответственно наиболее оптимально выбрать мероприятия по энергосбережению.

$$\begin{cases} D = D_1 \cap D_2 \cap D_3 \\ F(c) = \sum_{i=1}^n E_1(i) + \sum_{i=1}^m E_2(i) + \sum_{i=1}^k E_3(i) \\ \sum_{i=1}^n C_1(i) + \sum_{i=1}^m C_2(i) + \sum_{i=1}^k C_3(i) \leq k \end{cases} \quad (7)$$

Метод многокритериальной оценки [3]. При анализе мероприятий по энергосбережению – снижению тепловых потерь методом многокритериальной оценки авторами была использована граф-схема (рис. 1).

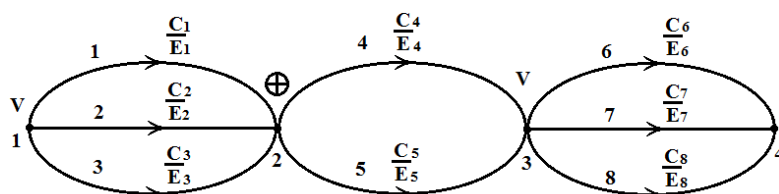


Рис. 1. Граф-схема мероприятий по энергосбережению

Дуги 1, 2, 3 соответствуют тем мероприятиям, которые могут быть реализованы на центрально-тепловом пункте предприятия (замена теплообменного оборудования, его теплоизоляция или установка частотно-регулируемых приводов на электродвигатели сетевых насосов).

Дуги 4 и 5 соответствуют тем мероприятиям, которые могут быть выполнены для снижения потерь тепловой энергии при ее транспортировке от ЦТП к ТП (изоляция трубопроводов теплоизоляционными материалами).

Дуги 6, 7, 8 определяют мероприятия по энергосбережению и энергоэффективности в ТП: автоматизация ТП, перевод системы отопления

на дежурный режим, регулирование теплоносителя по фасаду здания.

Если на рассматриваемом уровне системы теплоснабжения может быть применено одно или несколько направлений повышения энергетической эффективности из всей совокупности дуг, то указывается символ «∨». Для возможности внедрения из всей совокупности только одного мероприятия применяется знак «⊕». В случае необходимости внедрения всего подмножества мероприятий указывается знак «Λ».

Для изучения фактического состояния системы теплоснабжения и оценки распределения тепловых потоков внутри предприятия составлено уравнение теплового баланса ПП:

$$\begin{aligned} \sum Q_{\text{рт}} = \sum Q_{\text{к}} Q_{\text{к}}^{\text{ппр}} + \sum Q^{\text{сн}} + \sum Q_{\text{номк}} + \sum Q_{\text{номпар}} + \\ + \sum Q_{\text{номвода}} + \sum Q_{\text{номтехн}} + \sum Q_{\text{номот}} + \sum Q_{\text{номГВС}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $Q_{\text{рт}}$ – располагаемая теплота; $Q_{\text{к}}^{\text{ппр}}$ – потребление теплоэнергии k -м потребителем; $Q^{\text{сн}}$ – объем теплоэнергии на собственные нужды котельных или ЦТП; $Q_{\text{номк}}$, $Q_{\text{номсн}}$, $Q_{\text{номпар}}$, $Q_{\text{номвода}}$, $Q_{\text{номтехн}}$, $Q_{\text{номот}}$, $Q_{\text{номгвс}}$ – потери теплоэнергии котлами; теплоэнергетическим оборудованием котельной, при передаче пара; теплофикационной воды; при технологическом процессе; в системе отопления и вентиляции; в системе ГВС.

На основе результатов анализа уравнения теплового баланса делается вывод о возможности снижения потерь теплоэнергии на каждом уровне системы с помощью внедрения энергосберегающих мероприятий.

Методика анализа энергосберегающих мероприятий. Формулируется задача оптимизации потерь теплоэнергии в СТСПП. Для энергосервисной компании мероприятие по энергосбережению оценивается двумя критериями:

- сумма капитальных и эксплуатационных затрат, C ;
- эффект получаемый от внедрения мероприятия, выраженный в стоимостном выражении от объема сэкономленной тепловой энергии, E .

Решение задачи снижения потерь в СТСПП состоит в выборе мероприятий, стоимость которых не превышает запланированного объема,

и их внедрение обеспечит получение максимального эффекта.

Пусть D – множество всех мероприятий по энергосбережению, состоящее из трех непересекающихся подмножеств D_1 , D_2 и D_3 .

Подмножество D_1 содержит n мероприятий, которые планируются к внедрению в тепловых пунктах цехов. Подмножество D_2 содержит m мероприятий, которые планируются к внедрению на участке от ЦТП до ИТП цехов. Подмножество D_3 содержит k мероприятий, которые планируются к внедрению на самом верхнем уровне СТСПП (в ЦТП).

Тогда n -мерные вектора $C_1(i)$, $C_2(i)$, $C_3(i)$ и $E_1(i)$, $E_2(i)$, $E_3(i)$ содержат стоимости и эффекты мероприятий из подмножеств D_1 , D_2 и D_3 .

С учетом введенных обозначений задача снижения тепловых потерь в СТСПП решается следующим образом:

1. Составление множества D планируемых мероприятий и декомпозиция его на три непересекающихся подмножества D_1 , D_2 и D_3 в зависимости от места внедрения мероприятий.

2. С помощью МАИ и метода АСФ вначале из подмножеств D_1 , D_2 и D_3 , затем из множества D проводится выбор эффективных мероприятий.

3. Задается значение максимального финансирования (K) направленного на реализацию выбранных мероприятий.

4. Составляется целевая функция, значение которой должно быть максимальным.

Так как СТСПП является сложной системой, то для учета зависимостей между ее элементами, при выборе мероприятий для подмножеств D_i , должны быть разработаны диаграммы причинно-следственных связей.

Для выбора эффективного подмножества мероприятий по энергосбережению на ПП используются методы многокритериального оценивания. Проанализированы следующие методы: min (max) свертка, мультипликативный метод анализа иерархий (МАИ). Достоинством данных методов является сведение многоэкстремальной проблемы к некоторой однокритериальной задаче, целевая функция которой представляет собой свертку исходных локальных критериев. Основным недостатком данных методов является наличие субъективности при определении весовых коэффициентов.

На основе анализа рассмотренных методов был выбран МАИ, который позволяет выявлять несогласованность суждений и использовать

единую шкалу отношений для сравнения качественных показателей.

Для минимизации субъективного фактора при получении интегральных оценок эффективности рассматриваемых мероприятий дополнительно применена методология многокритериального оценивания сравнительной эффективности – анализ среды функционирования. Она позволяет определять сравнительную эффективность каждого мероприятия по отношению к другим сопоставимым объектам, при этом рассчитывается степень их «удаленности» от эффективных объектов.

Проведен анализ методов экономической оценки инвестиций в энергосберегающие мероприятия. В связи с тем что во время проведения исследований в основном рассматриваются крупно затратные мероприятия с длительным сроком окупаемости (5–7 лет), то для расчета экономического эффекта выбран метод дисконтированного срока окупаемости затрат. Сущность метода дисконтированного срока окупаемости состоит в том, что с первоначальных затрат на реализацию инвестиционного проекта (ИП) последовательно вычитаются дисконтированные денежные доходы с тем, чтобы окупилась инвестиционные расходы.

Метод анализа иерархий с двухступенчатым использованием парных сравнений [4–6]. Наибольшее влияние на энергоэффективность промышленных предприятий оказывает обоснованный выбор оборудования, поскольку именно современное оборудование позволяет сократить потери энергии. Так, например, внедрение частотно-регулируемых приводов позволяет сокращать потери за исключением повторных включений оборудования с непрерывным циклом работы.

Для проектирования и модернизации энергетической системы необходимы методы проектирования, учитывающие большое количество на рынке отечественного и зарубежного электрооборудования. Основная проблема проектирования заключается в обоснованном выборе оборудования, которое отличается большим разнообразием, как по функциональным возможностям, так и по стоимости.

Для решения этой задачи целесообразно использовать теорию принятия решений и, в частности, морфологический синтез, который основан на последовательном сравнительном анализе альтернативных вариантов.

Приведем краткий алгоритм морфологического синтеза:

1. Сужение области поиска за счет неудовлетворения требования:

- выбираются требования, у которых тип свертки одинаков во всех вершинах;
- проверка вершин, отобранных на первом шаге, на соответствие требованиям; если требования не выполняются, то вершина помечается как удаленная;
- перебор всех вершин от листьев к корню и проверка двух правил: если имеем вершину "И", и один из приемников помечен как удаленный, то и она помечается как удаленная; если вершина "ИЛИ" и все приемники удаленные, то вершина помечается как удаленная.

2. Перебор вариантов и сравнение показателей:

- рассчитывается одно из поддеревьев;
- находится среди сгенерированных поддеревьев такое, у которого будет наилучший набор критериев;
- для использования морфологического синтеза должна быть проведена большая подготовительная работа; кроме того, перебор дерева может и не привести к результату или дать очевидное решение.

Достоинством же метода является возможность его автоматизации. Данный метод позволяет осуществлять последовательный выбор по каждому определенному параметру без учета их весовых коэффициентов для каждого варианта технического решения. В то же время определенный вариант решения с различной степенью легкости может обеспечить необходимое свойство системы, а какие-то свойства этим вариантом вообще не могут быть обеспечены. Поэтому необходим метод, который учитывал бы не только приоритеты каждого свойства или критерия, но и степень легкости обеспечения этого свойства вариантом решения, то есть необходимо введение весовых коэффициентов для каждого варианта решения.

Для решения этой задачи целесообразно использовать метод расстановки приоритетов, предложенный В. А. Блумбергом и В. Ф. Глушенко на основе задачи о лидере [2].

Оценка в соответствии с указанным выше методом осуществляется с помощью комплексных приоритетов $B_{i \text{ ком}}$ по формуле:

$$B_{i \text{ ком}} = \sum_{j=1}^n \beta'_j B'_{ij}, \quad (9)$$

где β'_j – относительный приоритет (значимость) j -го критерия; B'_{ij} – относительный при-

оритет i -го варианта по j -му критерию; n – количество критериев.

На втором этапе строятся квадратные матрицы для каждого из критериев. В столбцах и строках пишется номер варианта, а на пересечении – коэффициенты (1,5; 1,0; 0,5), указывающие, какой вариант предпочтительнее по данному критерию.

Следующий этап предусматривает последовательное определение абсолютных приоритетов B_{ij} вариантов, а затем – относительных B'_{ij} , которые вычисляются в долях единицы. Для расчета B_{ij} каждая строка в матрице умножается на вектор-столбец Σ . Нормированные значения, то есть относительные B'_{ij} , получаются делением B_i на $\sum_{i=1}^m B_{ij}$. По этому правилу для каждой

таблицы критерия вычисляются приоритеты B'_{ij} .

Далее определяются значимости критериев. Для этого также применяют метод расстановки приоритетов с той лишь разницей, что объектами сопоставления теперь являются не варианты решений, а критерии оценки d_j . Задача решается по приведенной выше схеме: составляется система сравнений и на ее основе квадратная матрица смежности. Вычисленные относительные приоритеты β'_j и являются коэффициентами значимости критериев.

Вариант, получивший наибольшее значение $B_{i \text{ ком}}$, может считаться лучшим из всех остальных.

Выводы: Этот метод позволяет уменьшить влияние субъективного фактора на выбор мероприятия по повышению энергоэффективности, поскольку дважды используются парные сравнения – при ранжировании критериев и при выборе мероприятий или оборудования по каждому критерию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щелоков, Я. М. Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника / Я. М. Щелоков. – Екатеринбург: 2011. – 150 с.
2. Дилигенский, Н. В. Системный анализ и многокритериальное оценивание энергоэффективности систем газоснабжения административно-территориальных образований / Н. В. Дилигенский, В. И. Немченко, М. В. Посашков // Газовая промышленность. – 2012. – № 12. – С. 51–54.
3. Мокроусов В. С. Результаты многокритериального оценивания мероприятий по энергосбережению при про-

ведении энергетического обследования промпредприятия Вестник ВГУ, серия : Системный анализ и информационные технологии. – 2012. – № 2.

4. Моисеева, Н. К. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / Н. К. Моисеева, М. Г. Карпунин. – М. : Высш. шк., 1988. – 192 с.

5. Одрин, В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М. : ВНИИПИ, 1989. – 312 с.

6. Шилин, А. Н. Морфологический синтез оптико-электронных систем измерения размеров нагретых деталей / А. Н. Шилин, И. А. Шилина // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 3. – С. 51–61.

УДК 620.9

Т. Ю. Сухоручкина, О. С. Атрашенко

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ

Рассмотрены основные перспективы развития альтернативной энергетики в России. Показаны основные возобновляемые источники, наиболее востребованные в настоящее время. Также, исследованы пути решения проблем, связанные с использованием ВИЭ в России.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, геотермальные электростанции.

T. Y. Suhoruchkin, O. S. Atrasenko

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY IN RUSSIA

**Kamyshin institute of technology (branch)
of FGBOU VO «Volgograd State Technical University»**

The basic prospects of development of alternative energy in Russia. Shows the main renewable sources, the most popular currently. Also, investigated solutions to the problems associated with the use of renewable energy in Russia.

Keywords: alternative energy, renewable energy, solar power, geothermal power plant.

Современная энергетика базируется преимущественно на невозобновляемых источниках, однако сокращение добычи и повышение стоимости нефти, газа и угля заставляют человечество искать новые источники энергии. Тем не менее, ископаемое и атомное топливо по-прежнему доминируют в мире.

По прогнозам, к середине нашего века доля альтернативной энергетики в мировом энергобалансе должна вырасти до 25 %. Основными преимуществами «альтернативных» источников являются их неисчерпаемость, возобновляемость, экологичность и доступность для использования практически в любой точке земного шара. [1]. И сегодня многие технологии, основанные на различных возобновляемых источниках энергии, не просто активно развиваются в мире, но уже способны составить успешную конкуренцию традиционным технологиям, доминирующим на рынке энергетических услуг.

Сегодня у России есть успешный опыт создания электростанций практически на всех известных видах возобновляемых источников энергии. Проблемой является отсутствие реальной государственной поддержки альтернатив-

ных энергопроизводств, несмотря на принятие в конце 2014 года ряда основополагающих постановлений и курс правительства на инновации.

Технический потенциал ресурсов ВИЭ в пять раз превышает годовое потребление первичных энергоресурсов в России, а экономический – способен обеспечить ежегодные энергетические потребности российской экономики на треть. То есть каждая третья сжигаемая тонна нефти и кубометр газа могут быть замещены энергией ветра, солнца, биомассы. В настоящее время этот колоссальный потенциал практически не используется. Доля ВИЭ в топливном балансе России составляет менее 1 %.

Хотя Россия в целом является экспортером энергии, большая часть российских регионов производит меньше энергоресурсов, чем им необходимо. При этом 70 % территории России находится в зоне децентрализованного энергоснабжения. Примерно 10 миллионов жителей России, которые не имеют доступа к электрическим сетям, в настоящее время обслуживаются автономными системами, работающими на дизельном топливе или бензине.

Противоречивая ситуация с возобновляемой энергетикой отчасти обусловлена неоднозначностью позиции по ее поводу у руководства России. Мнение самых влиятельных лиц страны в отношении энергетической альтернативы определенно меняется, но его нельзя назвать единодушным:

Д. А. Медведев (2013): «Без должного внимания к «новой» энергетике мы будем заложниками существующей углеводородной модели» [2].

В. В. Путин (2013): «В настоящее время альтернативная энергетика существует лишь потому, что ее субсидируют, но это не значит, что ее не нужно развивать» [3].

Несмотря на выше высказанные мнения нашего Правительства в стране создаются законодательные акты, поддерживающие развитие ВИЭ в РФ. Вот некоторые из них:

- Федеральный закон «О государственной политике в сфере использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии»;
- Указ Президента РФ от 4 июня 2008 года № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики»;
- Постановление Правительства Российской Федерации № 1178 «Основы ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике»;
- Постановление Правительства РФ от 5 февраля 2015 года по стимулированию использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на розничных рынках электроэнергии.

От перечисления законодательных актов может сложиться впечатление, что в России созданы достаточные условия для развития ВИЭ на оптовом рынке. Тем не менее, выполнение намеченных целей находится под большим вопросом. Достигнуть 4,5 % к 2020 году в нынешних условиях, по мнению многих экспертов, не удастся. Два основных законодательных акта, касающиеся ВИЭ (261-ФЗ «Об энергосбережении» и Постановление Правительства РФ № 449), создают два совершенно разных поля для принятия решений. Такую ситуацию можно использовать в интересах развития ВИЭ, однако сложно предположить, насколько это реалистично.

Итак, какая же перспектива альтернативной энергетики в России.

На сегодняшний момент наибольшее развитие и популярность в России получило произ-

водство и экспорт пеллет для тепловой энергии на основе ВИЭ. По данным Минпромторга России, ежегодно в России производится до 1 млн т пеллет, их производство увеличивается каждый год на 10–15 %, и до 80–90 % этой продукции экспортируется, в основном в Европейский союз (97 %). Южнокорейский рынок второй, но не такой большой, как рынок ЕС (2 %). В России на начало 2015 года было уже 12 крупных пеллетных заводов, экспортирующих в год от 20 до 300 тыс. т пеллет.

Востребованной и наиболее перспективной при сегодняшнем раскладе сил остается малая гидроэнергетика. Сейчас в России действуют порядка 300 МГЭС общей мощностью около 1 300 МВт. Примером является Эшкаконская малая ГЭС (республика Карачаево-Черкесия), мощностью 0,6 МВт и среднегодовой выработкой 3,4 млн кВт·ч.



Рис. 1. Эшкаконская МГЭС

Существуют неплохие предпосылки для развития солнечной энергетики – запускаются предприятия по производству поликремния. В ближайшие годы ожидается мощное развитие, связанное с технологическим прогрессом и снижением цен на оборудование. Примером является железнодорожный вокзал в Анапе, модернизация которого стала пилотным проектом в рамках программы капитальной реконструкции вокзалов ОАО «РЖД». Расположение в регионе со средним количеством солнечных дней в году (около 280) дало большие возможности для использования солнечной энергии: на крыше здания работают 560 солнечных модулей суммарной мощностью 70 кВт.

Также, примером является дизель-солнечная электростанция мощностью 100 кВт в поселке Яйлю на Алтае.

В ближайшие несколько лет ожидается значительный рост биогазового рынка в России, причина этого в набравшей проблеме обращения с отходами сельского и городского хозяйства. Так, в Ростовской области на территории трех сельскохозяйственных комплексов в ближайшие годы могут быть построены крупные биогазовые станции. Схожие проекты готовы и для Курской, Ульяновской, Тамбовской областей, Республики Башкортостан и некоторых других регионов.

Итак, примером является белгородская биогазовая электростанция «Лучки». Всего с пуска в эксплуатацию, который состоялся в июне 2012 года, «Лучки» переработали 230 тыс. тонн отходов растениеводства и животноводства, производство электроэнергии при этом составило 61 млн кВт·ч. Это по-прежнему самый высокий показатель в стране по выработке электроэнергии с помощью биогазовых технологий.



Рис. 2. Биогазовая станция «Лучки»

Использование геотермальных технологий и приливной энергетики также имеют хорошие перспективы – эти проекты наиболее позитивно оцениваются российскими властями, а значит, имеют шанс на государственные субсидии. Например, ГеоЭС, расположенная близ вулкана Мутновский, на юго-востоке Камчатки. Установленная мощность – 50 МВт. Примером приливной электростанции является первая и единственная в России ПЭС, расположенная в Кислой губе Баренцева моря вблизи поселка Ура-Губа. Мощность станции – 1,7 МВт.

Основными проблемами развития ВИЭ в России:

- неудовлетворительное состояние экономики;
- сокращение объемов финансирования в сфере альтернативной энергетики;



Рис. 3. Кислогубская ПЭС

- мощное лобби олигархических корпораций, продающих электроэнергию, нефть, газ, уголь, на пути исследователей, работающих в области данной проблемы.

Для того чтобы вдохнуть жизнь в отрасль возобновляемой энергии, необходимо предпринять следующие меры:

1. Законодательно оформить гарантии инвесторам (инвесторами могут быть как генерирующие компании – ТГК, ОГК, так и финансовые учреждения – банки, инвестиционные компании) в получении определенной нормы доходности с проекта по ВИЭ. Это можно сделать за счет введения специальной надбавки к рыночной цене электроэнергии для ВИЭ. Цена, по которой федеральные или региональные компании будут покупать электроэнергию, сгенерированную из ВИЭ, будет определяться как рыночная плюс надбавка, размер которой зависит от типа источника. Для солнечной энергии он станет самым высоким, для проектов по биомассе – самым низким. Такой механизм уже несколько лет применяется в Европе, и доказал свою эффективность. Инвесторы охотно вкладывают деньги в солнечные, ветряные и другие генерирующие станции, причем минимальная требуемая доходность к подобным инвестиционным проектам около 10 %, что указывает на низкие риски и высокую уверенность в получении будущих денежных потоков. Конечно же, в итоге за все платит потребитель, поскольку ему приходится дороже платить за электроэнергию, средняя стоимость которой становится выше. Насколько это критично для России? Если мы поставим перед собой цель хотя бы 5 % к 2020 году, и введем надбавки аналогичные по размеру Европейским (для ветра в Германии это, например 8–9 евроцентов за кВт·час), то есть около 3,5 рублей, то средняя стоимость киловатта поднимется на 4–5 %, что, очевидно,

является незначительной величиной относительно планируемых кратных повышений, которые сулит либерализация рынка.

2. Ввести ограничения на выброс CO_2 . При чем вводить ограничения следует не на уже построенные мощности, а лишь на те, которые вводятся вновь. Эта мера коснется прежде всего генерирующих компаний, поскольку они будут вынуждены внедрять современные высокоэффективные технологии сжигания (парогазовые котлы, ЦКС), а также искать новые «чистые» источники энергии.

Введение этих двух механизмов позволит подтолкнуть российскую электроэнергетику к инновациям. Эффект от этого выйдет далеко за пределы отрасли, ведь при появлении спроса, скажем на солнечные батареи, ветряные турбины и котлы для сжигания биомассы обязательно должны вызвать соответствующее предложение со стороны отечественных производителей, а это, в свою очередь, подхлестнет машиностроение, химическую промышленность, науку. То есть энергетика имеет все шансы стать новой точкой роста российской высокотехнологичной экономики.

Понятно, что без тепловой и атомной энергетики, от которых человечеству придется

отказаться, чтобы выжить, не обойтись, возможно, на протяжении всего нынешнего столетия. Но там, где есть возможность, следует внедрять альтернативные источники энергии, чтобы смягчить неизбежный переход от традиционной энергетики к альтернативной. Тогда будет жизненно важно, сколько солнечных батарей успеет вступить в действие, сколько заработает «мини-ГЭС» и приливных станций, открывающих дорогу тысячам других, сколько цепочек ветряков встанет по горам и сколько цепочек волновых буйков закачается у побережий [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Германович, В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли и биомассы / В. Германович, А. Турилин. – СПб. : Наука и Техника, 2014. – 320 с.
2. РИА-Новости, 28.05. – 2013.
3. Выступление на Круглом столе «Молодежной двадцатки» в рамках мероприятий Петербургского международного экономического форума, 20.06.2013.
4. Галуцак, В. С. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований / В. С. Галуцак, А. Г. Сошинов, О. С. Атрашенко, Т. В. Копейкина. – 2015. – № 12–3. – С. 385–388.

УДК 621.311

А. Н. Шилин, С. С. Проскуряков

СРАВНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены топологические методы расчета надежности электрических сетей: метод минимальных путей и сечений, и метод сигнальных графов. На примере графа, описывающего топологию электрической сети, продемонстрировано применение этих методов. Проведена сравнительная оценка быстродействия методов. В качестве критерия оценки быстродействия использовано время, затрачиваемое на выполнение алгоритмов, с помощью которых были реализованы методы.

Ключевые слова: показатели надежности; электрическая сеть; структурная надежность; граф; метод минимальных путей и сечений; метод сигнальных графов; эквивалентные преобразования; оценка быстродействия.

A. N. Shilin, S. S. Proskurjakov

COMPARISON OF TOPOLOGICAL METHODS OF CALCULATING THE RELIABILITY OF POWER GRID

Volgograd State Technical University

The subject of this paper is the comparison of topological methods of calculating the reliability of power grid. In this paper consider the topological methods for calculating the reliability of power grid: the method of minimal paths and cross sections, and the method of signal graphs. On the example of the graph describing the topology of the power grid, demonstrates the application of these methods. Comparative evaluation of the performance of methods was carried out. As a criterion for performance evaluation used the time required to perform the algorithms by which methods have been implemented.

Keywords: reliability parameters; power grid; structural reliability; graph; method of minimal paths and sections; method of signal graphs; equivalent transformations; evaluation of performance.

Введение

Основными элементами электрических энергетических систем (ЭЭС) являются электрические станции и электрические сети, которые и определяют надежность электроснабжения потребителей. Для анализа и расчета надежности ЭЭС отечественными и зарубежными учеными были разработаны различные методы и алгоритмы. Широкий спектр этих методов и алгоритмов позволяет проводить расчеты надежности практически для всех элементов ЭЭС.

В качестве объекта исследования в данной статье выберем электрические сети. Поскольку из проведенного анализа проблем повышения надежности энергетических систем можно сделать вывод, что самым ненадежным элементом системы являются воздушные линии электропередачи, поскольку на надежность их работы оказывает влияние большое число различных факторов, а для оценки надежности воздушных линий используются показатели надежности из справочников и книг [1]. Однако эти показатели слишком усреднены и не могут обеспечить высокой точности при оценке надежности.

В настоящее время за рубежом одним из приоритетных направлений развития электроэнергетики является внедрение интеллектуальных сетей. Интеллектуальная сеть (Smart Grid, «умная», или активно-адаптивная сеть) – это комплекс технических средств, которые в автоматическом режиме выявляют наиболее слабые и аварийно опасные участки сети, а затем изменяют характеристики и схему сети с целью предотвращения аварии и снижения потерь. Интеллектуальная сеть работает в режиме реального времени, следовательно, и оценку надежности необходимо проводить в режиме реального времени. Таким образом, одним из важнейших показателей становится быстрое действие алгоритма оценки надежности.

В настоящее время в связи с широким использованием во всех сферах деятельности человека средств вычислительной техники разрабатываются методы моделирования, ориентированные на использование компьютеров, то есть более формализованные и рассчитанные на работу в реальном режиме времени, в том числе работу в реальном режиме времени с интеллектуальными сетями. Очевидно, что для анализа надежности сетей целесообразно использовать топологические модели [1]. Для того чтобы провести сравнение методов анализа

надежности электрических сетей проведем анализ нескольких методов расчета надежности на конкретном примере. Выберем два метода: анализ надежности методом минимальных путей и сечений сетей и анализ надежности методом сигнальных графов.

Метод минимальных путей и сечений

Начнем с метода минимальных путей и сечений сетей. Одним из основных показателей эффективности функционирования электрических сетей является их надежность, которая характеризует способность сетей выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания. Структурная надежность зависит от выбранной структурной схемы сети, степени резервирования аппаратуры и от вероятности разрушения или повреждения отдельных каналов или узлов связи.

Для анализа структурной надежности сетей используются матрично-топологические методы, которые основаны на теории графов. Электрическую сеть можно представить как совокупность множества узлов и множества, соединяющих узлы ребер. Множество всех узлов графа, смежных с некоторым узлом, называется окружением. Степень узла графа равна числу ребер, инцидентных данному узлу. Чередующаяся последовательность узлов и ребер называется маршрутом, соединяющим узлы. Очевидно, что маршрут можно задать последовательностью его узлов, а также последовательностью ребер. Число ребер образующих путь называется рангом пути.

Одним из ограничений, используемых в статье, является то, что топология сети не должна содержать петель и обратных связей. Именно такая топология характерна для электрических сетей, что позволяет нам применить модифицированный аппарат теории сигнальных графов, описание которого приведено далее. Отметим, что описанные ограничения и допущения одинаковы как для метода минимальных путей и сечений, так и для метода сигнальных графов.

Алгоритм анализа надежности методом минимальных путей и сечений сетей содержит следующие этапы:

1. Формирование списка возможных фрагментов пути из узла-источника в узел-приемника;
2. Поиск по фрагментам всех возможных путей;

3. Выделение независимых путей минимального ранга;

4. Формирование списка независимых сечений минимального ранга [2].

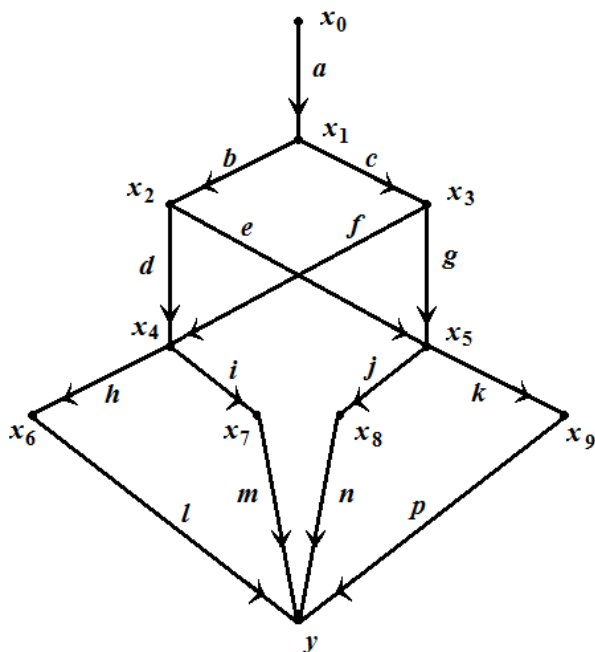


Рис. 1. Сигнальный граф, отражающий топологическую схему электрической сети

Граф сети (рис. 1) отражает топологическую схему сети, на нем введены следующие обозначения: x_0 – узел графа – источник электроэнергии; $x_1 - x_9$ – узлы графа – промежуточные потребители электроэнергии; y – узел графа – приемник электроэнергии; $a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, p$ – ребра графа – каналы передачи электроэнергии

В качестве примера применим приведенный нами алгоритм к графу, показанному на рис. 1. В результате, мы получили для нашего графа одиннадцать минимальных сечений: $a, bc, cde, bfg, cefhi, befjk, cdgjk, dfjk, hijk, bdghi, eghi$. Теперь, зная минимальные сечения графа, мы можем определить вероятность безотказной работы сети при передаче электроэнергии от узла x_0 к узлу y .

Метод сигнальных графов

Теперь рассмотрим метод сигнальных графов. На основе анализа методов оценки надежности топологических схем (электрических и информационных сетей) следует, что для оценки надежности воздушных линий электропередачи целесообразно использовать методы аналоговых (сигнальных) графов, поскольку структура сигнальных графов полностью сов-

падает со схемой электрической сети, а передача пути линии с различными показателями равна произведению передач участков.

Поскольку сигнальный граф был разработан для детерминированных линейных систем, а при преобразовании параллельных ветвей случайных процессов результат операции содержит кроме суммы вероятностей еще и разность их произведения и поэтому на основе анализа операций линейный сигнальный граф был модифицирован для моделирования случайных процессов, а именно модернизированы эквивалентные преобразования.

Однако аппарат теории М-графа в полном объеме в задаче анализа надежности использовать не представляется возможным, поскольку аппарат разработан для детерминированных линейных систем. В теории вероятности при сложении вероятностей результат операции содержит кроме суммы вероятностей еще и разность их произведения. Поэтому если при суммировании учитывать и разность этих произведений, то операции эквивалентных преобразований последовательно или параллельно соединенных элементов можно использовать в задаче определения вероятностей безотказной работы системы. При эквивалентном преобразовании параллельно соединенных ветвей возможно два варианта: алгебраически учитывать разность произведения их передач или добавлять третью ветвь с передачей, равной произведению передач ветвей с отрицательным знаком. В качестве передачи ветви графа в методике использована вероятность безотказной работы системы, которая через параметр потока отказов зависит от длины линии [3].

Отказ рассматривается как событие, нарушающее работоспособность элементов или системы, и ему приписывается значение 0. Отсутствие отказа означает работоспособность, которому соответствует значение 1. Каждый элемент, как и система в целом, может находиться в одном из двух положений, и в этом смысле они характеризуются логическими переменными, которые могут иметь значения 0 или 1.

Данный метод позволяет получить достоверные показатели надежности сети и тем самым выбирать решения о проведении мероприятий, повышающих надежность сети, и при определении очередности проведения данных мероприятий: ремонт и модернизация системы, введение дополнительных резервных сетей и устройств.

Сравнительная оценка быстродействия

Проведем сравнительную оценку быстродействия данных методов. Для этого проведем оценку быстродействия алгоритмов, с помощью которых реализуются приведенные методы. Для оценки быстродействия будем измерять время, затрачиваемое на выполнение алгоритмов. После проведения тестирования сравним скорости работы данных алгоритмов.

Код, реализованный на языке программирования C#, который будет подвергаться анализу быстродействия, не содержит каких-либо инструкций, негативно влияющих на скорость работы. Все инструкции относятся непосредственно к реализации алгоритма. Отсутствуют инструкции, отображающие графический интерфейс и тому подобные инструкции, ухудшающие качество оценки скорости работы алгоритма. Так как наша цель – сравнить между собой быстродействие нескольких алгоритмов, то мы обязаны сравнивать время работы на одинаковых данных.

Алгоритм на одних и тех же данных в разных запусках будет работать разное время, так как имеет место погрешность измерений. Для решения проблемы измерения времени, будем производить 10 запусков алгоритма на одинаковых данных, результатом будет являться среднее арифметическое времени выполнения.

В качестве методики тестирования будем применять методику, предложенную компанией *Microsoft Corporation* и описанную в *Microsoft Developer Network*. Данная методика была выбрана, поскольку она является рекомендованной *Microsoft Corporation*, непосредственными разработчиком языка C#. Она является основной, классической методикой для тестирования алгоритмов написанных на данном языке.

Для измерения времени будем применять стандартную библиотеку классов платформы *.NET Framework*, а точнее, класс *Stopwatch*, относящийся к пространству имен *System.Diagnostics*. Пространства имен *System.Diagnostics* содержат типы, позволяющие осуществлять взаимодействие с системными процессами, журналами событий и счетчиками производительности. Дочерние пространства имен содержат типы для взаимодействия со средствами анализа кода, сбора данных о производительности, а также для чтения и записи информации об отладке.

Приведем пример кода, иллюстрирующий методику измерения времени выполнения алгоритма:

```
Stopwatch stopWatch = new Stopwatch();
stopWatch.Start();
Thread.Sleep(10000);
stopWatch.Stop();
Console.WriteLine("RunTime " +
stopWatch.ElapsedMilliseconds);
```

Данная методика позволит нам получить нужную нам характеристику алгоритмов – время работы и на основе полученных результатов подвести итоги [4].

Приведем параметры компьютера, на котором проводилось тестирование. Операционная система: *Windows 7 Ultimate SP1*. Процессор: *Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU P840 @ 2.26GHz*. Объем ОЗУ: 3 ГБ. Разрядность системы: 32.

Для тестирования выберем три набора данных. Одним из наборов входных данных будет являться пример, рассмотренный в статье. Этот пример – второй набор данных. Количество вершин в нем равняется 11, количество ребер в нем равняется 15. Первый набор данных будет содержать меньшее количество узлов и ребер, чем второй. Количество вершин в нем равняется 6, количество ребер в нем равняется 8. Второй набор данных будет содержать большее количество узлов и ребер, чем второй. Количество вершин в нем равняется 24, количество ребер в нем равняется 28.

Как уже упоминалось выше, для решения проблемы погрешность измерений времени, будем производить 10 запусков алгоритма на одинаковых данных, результатом будет являться среднее арифметическое времени выполнения. Результаты измерений представлены в таблице.

Результаты измерений времени работы алгоритмов

№ набора	Время, затраченное на выполнение алгоритма, миллисекунды	
	Метод сигнального графа Мезона	Метод минимальных путей и сечений
1	1182	1232
2	3575	3927
3	8268	10233

Проведем анализ полученных и результатов и представим их в виде диаграммы (рис. 2) для большей наглядности.

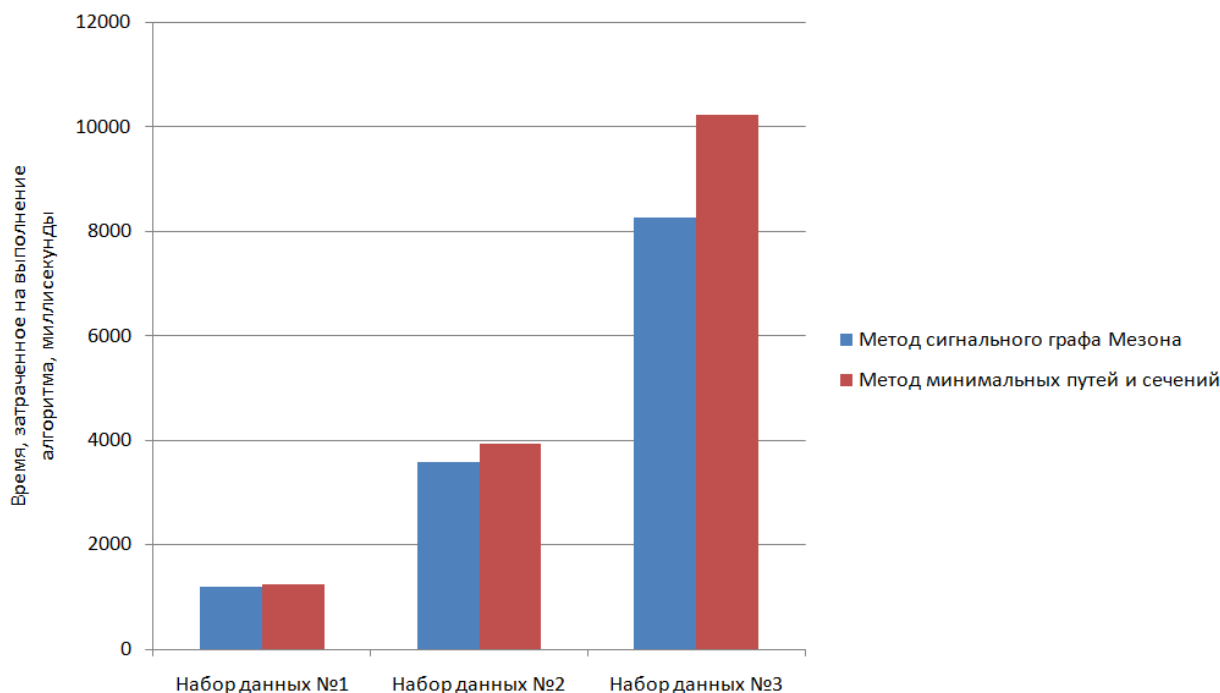


Рис. 2. Результаты измерений времени работы алгоритмов

Заключение

На основании рассмотренных выше результатов измерений времени работы алгоритмов можно сделать следующие выводы. Метод сигнального графа Мезона стабильно показывает лучший результат по скорости работы, чем метод минимальных путей и сечений. Однако на небольших графах скорость работы методов практически одинакова, и преимущество в скорости является незначительным относительно полного времени выполнения алгоритма. С увеличением количества вершин и ребер анализируемого графа увеличивается разница во времени выполнения алгоритма. На более сложных графах с большим количеством вершин и ребер метод сигнального графа Мезона показывает больший прирост скорости, его преимущество становится более очевидным.

По результатам оценки быстродействия методов, можно сделать вывод, что модифицированный метод сигнального графа Мезона по-

зволил повысить скорость расчета надежности сетей, что подтверждено сравнением результатов работы метода с результатами работы метода минимальных путей и сечений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. Н. Анализ надежности систем передачи и распределения электроэнергии / А. Н. Шилин, О. И. Доронина, А. Г. Сошинов // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сб. науч. тр. Международной научно-технической конференции. 12–15 мая 2009 г. / ТГУ – Тольятти, 2009. – С. 174–177.
2. Зорин, В. В. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко, Ф. А. Клеппель и др. – Киев : Вища школа, Головное издательство, 1984. – 192 с.
3. Шилин, А. Н. Расчет надежности воздушных линий электропередачи с учетом влияния погодных условий / А. Н. Шилин, О. И. Доронина // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2014. – № 4. – С. 18–22.
4. System.Diagnostics – пространства имен: MSDN Library [Электронный ресурс]. URL: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/gg145030\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/gg145030(v=vs.110).aspx) (дата обращения: 17.02.2015)

Л. В. Хоперскова

**К ВОПРОСУ О МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ
СИНТЕТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА –
ДИ(ОКТАФТОРПЕНТИЛОВОГО) ЭФИРА**

Волгоградский государственный технический университет

Для создания модели электрического пробоя проведено сравнение экспериментальных и теоретических параметров ди(октафторпентилового) эфира. Сделан вывод, что для совпадения результатов необходима полная физическая теория и использование дискретных моделей.

Ключевые слова: жидкий диэлектрик, электрическая изоляция, модель проводимости.

L. V. Hoperskova

**TO THE QUESTION ABOUT THE MODEL OF ELECTRICAL BREAKDOWN
OF SYNTHETIC LIQUID DIELECTRIC - DI (OKTAFTORPENTILOVOGO) ETHER**

Volgograd State Technical University

To build a model of electrical breakdown of the dielectric liquid compared experimental and theoretical parameters of di(octafluoropentyl)ether. It was concluded that the results need to match the complete physical theory and discrete model.

Keywords: liquid dielectric electrical insulation, conductivity model.

Использование синтетических жидких диэлектриков при эксплуатации высоковольтных электрических аппаратов обеспечивает длительную и надежную работу оборудования. Наиболее перспективными в настоящее время являются жидкие диэлектрики на основе фторорганических соединений. Замена трансформаторного масла, теряющего электроизолирующие свойства при длительных сроках эксплуатации и подверженного окислению, на вещества с высокой термической стабильностью и химической стойкостью, а также водо- и маслоотталкивающими свойствами открывает широкие перспективы к повышению надежности и экономичности систем энергоснабжения [1].

Установлено, что ди(октафторпентил)овый эфир $[\text{H}(\text{CF}_2)_4\text{CH}_2]_2\text{O}$, относящийся к полифторированным эфирам, может успешно применяться для электрической изоляции силового электроэнергетического оборудования [2, 3]. Получение этого вещества не требует больших затрат, а проведенные исследования показывают, что по своим свойствам этот простой эфир не уступает перфтортрансформаторному маслу, имеющему многостадийную процедуру получения и, как следствие, высокую стоимость. Экспериментальными исследованиями установлены следующие электроизолирующие свойства ди(октафторпентилового) эфира: электрическая прочность $E_{\text{пр}} = 50$ кВ/мм при достигнутой степени очистки (99,95 %), удельное сопротивление $\rho = 10^{12}$ Ом·м, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 10^{-4}$, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 7,65 \div 7,97$ [2].

Рассчитаем некоторые параметры на основе полученных экспериментальных данных. В частности, с учетом выражения для плотности тока проводимости ($j_{\text{пр}} = E_{\text{пр}} / \rho$) имеем оценку:

$$j_{\text{пр}} = 0,05 \text{ мА/м}^2.$$

Выделяющаяся при этом удельная мощность ($p = \rho \cdot j^2$) равна 2,5 кВт/м³. Фактически, последняя величина равна количеству теплоты Q_1 , выделяющемуся в единицу времени в единице объема проводящей среды из-за электропроводности. Следует отметить, что рассчитанные значения относятся к предпробивному режиму [1], когда электрическое сопротивление жидкого диэлектрика еще не изменилось под воздействием внешнего электрического поля. В ситуации, когда количество отводимой теплоты Q_2 будет меньше Q_1 , то возникает прогрессирующий разогрев диэлектрика, приводящий к формированию канала высокой проводимости.

Представляется, что проводимость ди(октафторпентилового) эфира может определяться как молекулярным составом основного вещества ($[\text{H}(\text{CF}_2)_4\text{CH}_2]_2\text{O}$), так и присутствием примесей. К примесям, остающимся в результате синтеза, относятся кислород и полярные соединения: диоксид серы (SO_2) и соляная кислота (HCl). Полярные молекулы имеют ассиметричное строение, то есть центры масс отрицательных и положительных зарядов не совпадают. Поэтому они обладают отличным от нуля электрическим моментом, и помещенные

в сильное электрическое поле определяют ток смещения $j_{см}$. В отличие от тока проводимости, создаваемого свободными носителями заряда, ток смещения измерить нельзя, однако его можно оценить, используя значение тангенса угла диэлектрических потерь ($j_{см} = j_{пр} / \operatorname{tg} \delta$). В результате получаем плотность тока смещения $j_{см} = 0,5 \text{ А/м}^2$. Этот ток обусловлен не только поляризацией молекул примесей, но изменением электрического поля. Основное же вещество, ди(октафторпентиловый) эфир, относится к неполярным диэлектрикам и не влияет на ток смещения.

Используя полученное значение тока смещения, оценим теоретическое значение диэлектрической проницаемости. Из соотношения $j_{см} = 2\pi f \epsilon \epsilon_0 E$ имеем: $\epsilon_{теор} = j_{см} / 2\pi f \epsilon_0 E$. Полагая значение частоты, равной частоте промышленного тока ($f = 50 \text{ Гц}$), а с учетом электрической постоянной $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, получаем: $\epsilon_{теор} = 3,6$. Сравнивая теоретическое значение с экспериментальным ($\epsilon_{эксп} = 7,65 \div 7,97$), видим, что они отличаются практически в два раза. Представляется, что такое расхождение результатов, по-видимому, можно объяснить несовершенством применяемой модели проводимости.

Исследование механизма пробоя исследуемого жидкого диэлектрика является сложной задачей, поскольку на сегодняшний день полной физической модели такого рода явлений не создано. В настоящее время присутствуют два основных подхода, позволяющие объяснить физику явления – «пузырьковый» и «ионизационный». Первый основывается на предположении, что пробой жидкости является разрядом в пузырьках газа, присутствующих в жидкостях и на электродах. Второй подход объясняет электрический разряд в жидком диэлектрике

размножением свободных носителей заряда в самой жидкости под воздействием внешнего электрического поля [4]. При этом использование аналитических методов ограничено изучением отдельных аспектов явления, что приводит к значительному расхождению теоретических и экспериментальных результатов. На сегодняшний день наиболее перспективным методом исследования формирования разрядных структур при различных условиях пробоя является построение дискретных моделей [5]. В этом случае применение численных методов дает возможность учитывать весь спектр процессов, обусловленных параметрами напряжения, физическими и химическими свойствами диэлектрика, геометрией разрядного промежутка. Представляется, что только в этом случае возможно теоретическое обоснование свойств ди(октафторпентилового) эфира как жидкого диэлектрика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробейников, С. М. Диэлектрические материалы: учеб. пособие / С. М. Коробейников; НГУ. – Новосибирск, 2012. – 67 с.
2. Пат. 2509384 РФ, МПК H01B3/20, H01B3/42. Электроизолирующая жидкость / А. И. Рахимов, В. П. Заярный, Д. Д. Молдавский, Л. В. Хоперскова, А. В. Мирошников, В. К. Михайлов, В. Е. Аввакумов; ВолгГТУ. – 2014.
3. Рахимов, А. И. Способ повышения эксплуатационных характеристик высоковольтного электротехнического оборудования / А. И. Рахимов, В. П. Заярный, Л. В. Хоперскова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 18 (145) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Процессы преобразования энергии и энергетические установки»; вып. 6). – С. 66–68.
4. Ушаков, В. Я. Физика пробоя жидких диэлектриков / В. Я. Ушаков; Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 80–87.
5. Лопатин, В. В. Развитие предпробивных неустойчивостей в конденсированных диэлектриках / В. В. Лопатин, М. Д. Носков // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, № 2. – С. 64–69.

УДК 621.317

*С. В. Токарь, А. И. Нефедьев***СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГОЛОВНЫМ
ОСВЕЩЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ****Волгоградский государственный технический университет**

Приведены проблемы касающиеся повышения безопасности движения и оптимизации энергетического баланса автомобиля. Предложена система управления головным освещением автомобиля, обеспечивающая плавное переключение ближнего и дальнего света фар автомобиля. Приведена схема системы управления, временные диаграммы напряжений, и описание работы.

Ключевые слова: система управления, головное освещение, электронный ключ, фары.

*S. V. Tokar, A. I. Nefed'ev***CONTROL SYSTEM OF HEAD LIGHT OF CAR****Volgograd State Technical University**

The problems concerning increasing the safety and optimizing the energy balance of the car are presented. The control system of head light of the car, providing smooth shifting and low beam in car headlights was designed. A diagram of the control system, the voltage time diagrams, and a description of the work were shown.

Keywords: control system, head light of car, electronic switch, headlight.

В настоящее время большое внимание уделяется повышению безопасности движения и оптимизации энергетического баланса автомобиля. Эта проблема решается различными путями, например, внедрением современных автоматизированных систем учета и контроля параметров движения, автоматизированных систем управления освещением, так и множеством других энергосберегающих решений [1].

Одной из важных систем автомобиля является система управления освещением [2, 3]. В автомобиле система освещения выполняет следующие функции:

- освещение дорожного полотна, обочины и расположенных на них объектов в условиях ограниченной видимости;
- предоставление информации другим участникам движения о наличии на дороге транспортного средства, его размерах, характере движения, совершаемых маневрах, а также принадлежности;
- освещение салона автомобиля, а также других его частей (багажного отсека, подкапотного пространства и др.) в темное время суток.

Важнейшими направлениями развития систем освещения является повышение безопасности движения и оптимизация расхода электроэнергии. Этим направлением занимаются крупнейшие мировые автопроизводители, внедряя инновационные решения [4]. Одним из таких инновационных решений является применение

светодиодов в головном освещении автомобиля [5, 6]. Еще одной проблемой, с точки зрения энергоэффективности, является необходимость включения ближнего света фар или ходовых огней во время движения в светлое время суток, что в итоге влечет за собой увеличение расхода топлива.

При движении по трассе в ночное время при наличии встречных автомобилей переключение дальнего света фар на ближний в начальный момент времени водитель воспринимает как резкое снижение уровня освещенности трассы, что приводит к сильному напряжению зрения и быстрому утомлению, и в итоге отрицательно влияет на безопасность движения.

Существенно снизить утомляемость водителя в ночное время может плавное выключение дальнего света при переключении его на ближний.

Для повышения безопасности движения в темное время суток разработана система управления головным освещением автомобиля, обеспечивающая плавное переключение ближнего и дальнего света фар автомобиля. Отличие предлагаемой системы от известных устройств [7,8] заключается в управлении как лампами дальнего, так и ближнего света фар. Дополнительным преимуществом использования данной системы является увеличение ресурса ламп ближнего и дальнего света фар, что положительно сказывается как на стоимости техничес-

кого обслуживания автомобиля, так и на безопасности движения.

Структурная схема системы управления головным освещением автомобиля приведена на рис. 1.

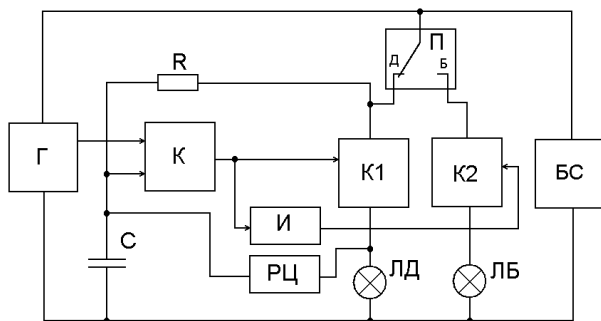


Рис. 1. Система управления головным освещением автомобиля

Устройство состоит из генератора пилообразного напряжения Г, выход которого подключен к входу компаратора К. При включении дальнего света фар переключатель П переключается в положение Д, и начинается зарядка конденсатора через резистор R в течение

0,2–0,4 с. При этом на второй вход компаратора подается экспоненциально увеличивающееся напряжение конденсатора C. В результате на выходе компаратора появляется последовательность импульсов с изменяющейся во времени скважностью, которая управляет ключом K1, построенном на полевом транзисторе с изолированным затвором и каналом *p*-типа. При этом длительность импульсов напряжения, поступающая на лампы дальнего света ЛД, увеличивается от импульса к импульсу в течение времени заряда конденсатора, что обеспечивает плавное включение ламп дальнего света фар в течение 0,2–0,4 с. Временные диаграммы напряжения на лампах дальнего света при включении и выключении приведены на рис. 2, а.

На вход электронного ключа K2, также построенного на полевом транзисторе с изолированным затвором и каналом *p*-типа, и управляющего лампой ЛБ ближнего света фар, подается последовательность импульсов от инвертора И с изменяющейся во времени скважностью.

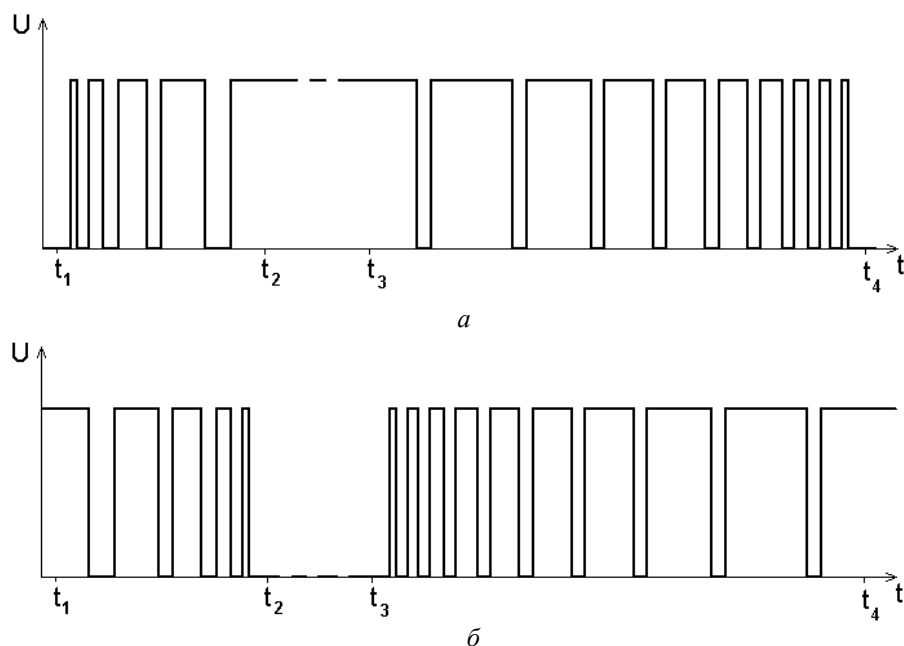


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений на лампах дальнего и ближнего света фар

Ключ K2 работает в режиме широтно-импульсной модуляции таким образом, что длительность импульсов напряжения на лампах ближнего света фар уменьшается от импульса к импульсу в течение времени заряда конденса-

тора, что обеспечивает плавное выключение ламп ближнего света фар в течение 0,2 – 0,4 с.

При выключении ламп дальнего света фар ЛД переключатель П переключается в положение Б, и начинается разрядка конденсатора че-

рез разрядную цепь в течение 1–3 с. При этом на вход компаратора с выхода генератора подается напряжение пилообразной формы, а экспоненциально уменьшающееся напряжение на конденсаторе подается на второй вход компаратора. В результате на выходе компаратора появляется последовательность импульсов с изменяющейся во времени скважностью, которая управляет ключом К1 таким образом, что длительность импульсов напряжения, поступающая на лампы дальнего света фар, уменьшается от импульса к импульсу в течение времени разряда конденсатора, что обеспечивает плавное выключение ламп дальнего света фар в течение 1–3 с. На вход электронного ключа 9, управляющего лампами 10 ближнего света фар, подается последовательность импульсов от инвертора 8 с изменяющейся во времени скважностью, в результате чего длительность управляющих импульсов, поступающая на лампы ближнего света фар, увеличивается от импульса к импульсу в течение времени заряда конденсатора, что обеспечивает плавное включение ламп ближнего света фар в течение 1–3 с. Временные диаграммы напряжения на лампах ближнего света при выключении и включении приведены на рис. 2, б.

В системе управления головным освещением также могут быть использованы светодиодные источники света, что существенно уменьшит нагрузку на бортовую сеть автомобиля.

Таким образом, разработанные устройства обеспечивают повышение безопасности движения в темное время суток путем плавного выключения и включения ламп дальнего и ближнего света фар автомобиля, а также обеспечивает продление срока их службы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ютт, В. Е. Электрооборудование автомобилей / В. Е. Ютт. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 440 с.
2. Акимов, С. В. Электрооборудование автомобилей / С. В. Акимов, Ю. П. Чижков. – М. : ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 384 с.
3. Поляк, Д. Г. Электроника автомобильных систем управления / Д. Г. Поляк, Ю. К. Есеновский-Лашков. – М. : Машиностроение, 1987. – 200 с.
4. Латова, В. Б. Перспективы развития систем головного освещения транспортных средств / В. Б. Латова, А. А. Эйдинов, С. И. Вылегжанин // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 6 (71). – С. 10–13.
5. Пахомова, Е. Э. Конструктивные особенности автомобильных фар головного освещения на светодиодах / Е. Э. Пахомова, В. П. Горкин, Д. М. Якунов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – № 2 (20), т. 1. – С. 51–54.
6. Справочник по устройству электронных приборов автомобилей. Часть 4. Системы освещения / А. И. Ходасевич, Т. И. Ходасевич. – М.: Изд-во «Антелком», 2005. – 192 с.
7. Автомат плавного выключения дальнего света фар [Режим доступа: <http://www.radiotekhnika.ru/rk/rk57.doc>. – Загл. с экрана].
8. Хрисанов А. Плавное выключение дальнего света фар / А. Хрисанов // Радио. – 1987. – № 2. – С. 46–47.

Редактор
В. В. Свитачева

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–64543 от 22 января 2016 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2016 г. Поз. № 23ж. Подписано в печать 29.07.2016 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,06.
Тираж 100 экз. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В научно-техническом журнале «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области экономики.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.