

# ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 3 (24)  
2018



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





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** – академик 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. Кортаев – 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. Ю. А. Гагарина, 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.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

№ 3 (24)  
Октябрь  
2018

**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) 24-84-31  
**e-mail:** pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: [www.vstu.ru](http://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.

ISSN 2500-0586

**Editor-in-chief**

**V. I. Lysak** – Academician of  
RAS Academician 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  
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. Aristova – 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- e resursosberezhenie: promyshlennost' i transport », 2018

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

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

**№ 3 (24)  
October  
2018**

**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) 24-84-31 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

- |                                                   |                                 |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| Азарян Д. К. 55                                   | Меренцов Н. А. 14               |
| Аржуханов Р. И. 55                                | Павленко В. Н. 73               |
| Беджанов Г. А. 10                                 | Парахневич Д. В. 31             |
| Голованчиков А. Б. 14, 21, 27, 36, 55, 65, 69, 73 | Парахневич Е. Д. 31             |
| Губицкая Е. В. 31                                 | Прохоренко Н. А. 14, 21, 69, 73 |
| Залипаева О. А. 27, 36                            | Романенко М. Д. 55, 65          |
| Коберник А. А. 27, 36                             | Русакова Г. Г. 31               |
| Копейкина Т. В. 58, 61                            | Русакова М. М. 31               |
| Кувшинов В. В. 10                                 | Смольская Д. О. 69              |
| Кутепов Д. М. 65                                  | Топилин М. В. 14, 21            |
| Ларцев А. М. 7                                    | Тринкер А. Б. 43, 47, 52        |
| Липатов Е. Ю. 7                                   | Фёдоров А. А. 10                |
| Мазина Л. В. 31                                   | Федянов Е. А. 7                 |
| Малиновский М. П. 10                              | Цыбенко А. Ф. 31                |

## AUTHOR INDEX

- Arzhuhanov R. I. 55  
Azaryan D. K. 55  
Bedjanov G. A. 10  
Fedorov A. A. 10  
Fedyanov E. A. 7  
Golovanchikov A. B. 14, 21, 27, 37, 55, 65, 69, 73  
Gubitskaya E. V. 31  
Kobernik A. A. 27, 37  
Kopeikina T. V. 58, 61  
Kutepov D. M. 65  
Kuvshinov V. V. 10  
Lartsev A. M. 7  
Lipatov E. U. 7  
Malinovsky M. P. 10  
Mazina L. V. 31  
Merencov N. A. 14  
Parakhnevich D. V. 31  
Parakhnevich E. D. 31  
Pavlenko V. N. 73  
Prokhorenko N. A. 14, 21, 69, 73  
Romanenko M. D. 55, 65  
Rusakova G. G. 31  
Rusakova M. M. 31  
Smolskaya D. O. 69  
Topilin M. V. 14, 21  
Trinker A. B. 43, 47, 52  
Tsybenko A. F. 31  
Zalipaeva O. A. 27, 37

## СОДЕРЖАНИЕ

---

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Ларцев А. М., Липатов Е. Ю., Федянов Е. А.</i><br>Изменение теплового состояния гильзы цилиндра дизеля<br>воздушного охлаждения при его форсировании.....                               | 7  |
| <i>Малиновский М. П., Кувишинов В. В., Фёдоров А. А., Беджанов Г. А.</i><br>Конструкции активной подвески с низким уровнем энергопотребления.....                                          | 10 |
| <i>Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Прохоренко Н. А., Топилин М. В.</i><br>К вопросу о расчетах оптимального флегмового числа<br>ректификационной колонны.....                          | 14 |
| <i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Топилин М. В.</i><br>Экспериментальные исследования насадки<br>с повышенной поверхностью теплообмена.....                                         | 21 |
| <i>Голованчиков А. Б., Залипаева О. А., Коберник А. А.</i><br>Расчет оптимального расхода абсорбента с учетом затрат<br>на амортизацию и оборотные средства.....                           | 27 |
| <i>Русакова М. М., Русакова Г. Г., Парахневич Е. Д., Парахневич Д. В., Мазина Л. В.,<br/>Губицкая Е. В., Цыбенко А. Ф.</i><br>Логистическая цепь переработки семян сарептской горчицы..... | 31 |
| <i>Голованчиков А. Б., Залипаева О. А., Коберник А. А.</i><br>Моделирование адсорбера непрерывного действия<br>с учетом энерго- и ресурсосбережения.....                                   | 36 |
| <i>Тринкер А. Б.</i><br>Железобетон, мосты и дороги России и ФРГ.....                                                                                                                      | 43 |
| <i>Тринкер А. Б.</i><br>Экологическое ресурсосбережение – приоритет России.....                                                                                                            | 47 |
| <i>Тринкер А. Б.</i><br>Поверхностно-активные вещества и электролиты в бетонах.<br>История создания и применения. ПАВ и эрзатцы.....                                                       | 52 |
| <i>Романенко М. Д., Голованчиков А. Б., Азарян Д. К., Аржуханов Р. И.</i><br>Экспериментальное исследование процесса удаления<br>кочерыжек капусты.....                                    | 55 |
| <i>Копейкина Т. В.</i><br>Энергоэффективность силовых трансформаторов.....                                                                                                                 | 58 |
| <i>Копейкина Т. В.</i><br>Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности.<br>Опыт применения.....                                                                                | 61 |
| <i>Голованчиков А. Б., Романенко М. Д., Кутепов Д. М.</i><br>Конструкционные особенности и экспериментальное исследование<br>гидравлических потерь уплотняющих устройств.....              | 65 |
| <i>Прохоренко Н. А., Голованчиков А. Б., Смольская Д. О.</i><br>Интенсификация работы шнекового пресса.....                                                                                | 69 |
| <i>Прохоренко Н. А., Голованчиков А. Б., Павленко В. Н.</i><br>Интенсификация работы барабанного питателя.....                                                                             | 73 |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Lartsev A. M., Lipatov E. U., Fedyanov E. A.</i><br>CHANGING THE THERMAL STATE OF THE CYLINDER<br>OF THE AIR COOLING DIESEL AT ITS FORCING.....                                    | 7  |
| <i>Malinovsky M. P., Kuvshinov V. V., Fedorov A. A., Bedjanov G. A.</i><br>CONSTRUCTIONS OF ACTIVE SUSPENSION WITH LOW LEVEL<br>OF ENERGY CONSUMPTION.....                            | 10 |
| <i>Golovanchikov A. B., Merencov N. A., Prokhorenko N. A., Topilin M. V.</i><br>TO THE QUESTION OF THE CALCULATIONS OF THE<br>OPTIMUM FLEGMIC NUMBER OF THE RECTIFICATION COLUMN..... | 14 |
| <i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Topilin M. V.</i><br>EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF A HEAVY-DUTY<br>HEAT EXCHANGE SURFACE.....                                             | 21 |
| <i>Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Kobernik A. A.</i><br>CALCULATION OF THE OPTIMUM COSTS OF ABSORBENT<br>WITH COSTS OF COSTS ON AMORTIZATION<br>AND CIRCULATING FUNDS.....     | 27 |
| <i>Rusakova M. M., Rusakova G. G., Parakhnevich E. D., Parakhnevich D. V.,<br/>Mazina L. V., Gubitskaya E. V., Tsybenko A. F.</i><br>LOGISTICS CHAIN OF MANUFACTURED SEEDS.....       | 31 |
| <i>Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Kobernik A. A.</i><br>MODELING OF ADSORBER OF CONTINUOUS ACTION WITH<br>ACCOUNT OF ENERGY AND RESOURCE SAVING.....                           | 37 |
| <i>Trinker A. B.</i><br>STEEL CONCRETE, BRIDGES AND ROADS<br>OF RUSSIA AND GERMANY.....                                                                                               | 43 |
| <i>Trinker A. B.</i><br>ECOLOGICAL RESOURCE-SAVING – A PRIORITY OF RUSSIA.....                                                                                                        | 47 |
| <i>Trinker A. B.</i><br>SUPERFICIALLY ACTIVE SUBSTANCES<br>AND ELECTROLYTES IN CONCRETE.<br>HISTORY OF CREATION AND APPLICATION. S.A.S. AND ERSATZES....                              | 52 |
| <i>Romanenko M. D., Golovanchikov A. B., Azaryan D. K., Arzhuhanov R. I.</i><br>EXPERIMENTAL STUDY OF THE CABBAGE STALKS<br>REMOVING PROCESS.....                                     | 55 |
| <i>Kopeikina T. V.</i><br>ENERGY EFFICIENCY OF POWER TRANSFORMERS.....                                                                                                                | 58 |
| <i>Kopeikina T. V.</i><br>STATIC THYRISTOR COMPENSATORS OF REACTIVE POWER.<br>THE APPLICATION EXPERIENCE.....                                                                         | 61 |
| <i>Golovanchikov A. B., Romanenko M. D., Kutepov D. M.</i><br>STRUCTURAL FEATURES AND EXPERIMENTAL STUDY<br>OF THE HYDRAULIC LOSSES OF THE SEALING DEVICES.....                       | 65 |
| <i>Prokhorenko N. A., Golovanchikov A. B., Smolskaya D. O.</i><br>INTENSIFICATION OF THE WORK OF THE SPREAD PRESS.....                                                                | 69 |
| <i>Prokhorenko N. A., Golovanchikov A. B., Pavlenko V. N.</i><br>INTENSIFICATION OF WORK OF THE DRUMER FEEDER.....                                                                    | 73 |

*А. М. Ларцев, Е. Ю. Липатов, Е. А. Федянов*

**ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА  
ДИЗЕЛЯ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЕГО ФОРСИРОВАНИИ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: tig@vstu.ru

Изложены результаты выполненного в программном комплексе ANSYS моделирования изменения теплового состояния гильзы цилиндра дизеля воздушного охлаждения 8ЧВН 15/16 при его форсировании по величине среднего эффективного давления. Сделан вывод о том, что при всех рассмотренных уровнях форсирования наиболее теплонапряженный верхний пояс гильзы цилиндров не лимитирует пределы форсирования дизеля в целом. Максимальные градиенты температуры в верхнем поясе гильзы примерно втрое меньше максимальных градиентов температуры на днище головки цилиндров.

*Ключевые слова:* дизели воздушного охлаждения, тепловая напряженность, уровень форсирования, гильза цилиндров.

*A. M. Lartsev, E. U. Lipatov, E. A. Fedyanov*

**CHANGING THE THERMAL STATE OF THE CYLINDER  
OF THE AIR COOLING DIESEL AT ITS FORCING**

**Volgograd State Technical University**

The results of the ANSYS software package modeling of the change in the thermal state of the cylinder of an air-cooled diesel engine 8ЧВН 15/16 are presented. It is concluded that for all considered levels of forcing the most heat-stressed upper belt of the cylinder does not limit the limits of the diesel engine as a whole. The maximum temperature gradients in the upper cylinder belt are about three times smaller than the maximum temperature gradients on the bottom of the cylinder head.

*Keywords:* air-cooled diesel engines, thermal tension, level of forcing, cylinder liner.

Тепловая напряженность деталей цилиндро-поршневой группы оказывается одним из основных факторов, ограничивающих возможности форсирования дизелей воздушного охлаждения. С увеличением размерности двигателя воздушного охлаждения роль тепловой напряженности как фактора, определяющего уровень возможного форсирования, возрастает. Это обусловлено тем, что с увеличением диаметра цилиндра при неизменном соотношении  $S/D$  тепловыделение в камере сгорания повышается пропорционально кубу диаметра, а площадь поверхности отвода теплоты в окружающую среду пропорционально квадрату диаметра.

В известных нам опубликованных работах, касающихся дизельных двигателей воздушного охлаждения, нет решения задачи определения предельной размерности цилиндропоршневой

группы, для которой возможно обеспечить допустимую тепловую напряженность конструкции при сохранении достигнутого в настоящее время в дизелях рассматриваемого типа уровня среднего эффективного давления.

Для решения указанной задачи требуется знать закономерности изменения теплового состояния основных деталей цилиндро-поршневой группы дизеля при его форсировании по среднему эффективному давлению без увеличения частоты вращения, и на этой основе выбрать наиболее теплонапряженный элемент конструкции, который лимитирует возможный уровень форсирования всего двигателя.

Оценка изменения тепловой напряженности верхнего пояса гильзы цилиндра при повышении среднего эффективного давления была проведена путем моделирования ее температур-

ного поля в программном комплексе ANSYS. В качестве физического объекта моделирования была взята гильза цилиндра дизеля 8 ЧВН 15/16, который имеет наибольшую размерность среди всех дизелей воздушного охлаждения. В последней серийной модификации дизель развивал 307 кВт при частоте вращения  $1700 \text{ мин}^{-1}$  ( $p_e = 0,96 \text{ МПа}$ ).

На рис. 1 представлена расчетная сетка для верхнего пояса гильзы цилиндров дизеля 8ЧВН 15/16, построенная в среде ANSYS. Граничные условия на внутренней и внешней поверхностях гильзы были заданы в форме граничных условий третьего рода. Значение коэффициента теплоотдачи на внутренней поверхности гильзы со стороны камеры сгорания вычисляли по формуле Вошни [1]. При этом температуру рабочего тела находили моделированием рабочего процесса дизеля [2]. Значение коэффициента теплоотдачи на внешней охлаждаемой обрешеченной поверхности принимали согласно данным, приведенным Пospelовым [3].

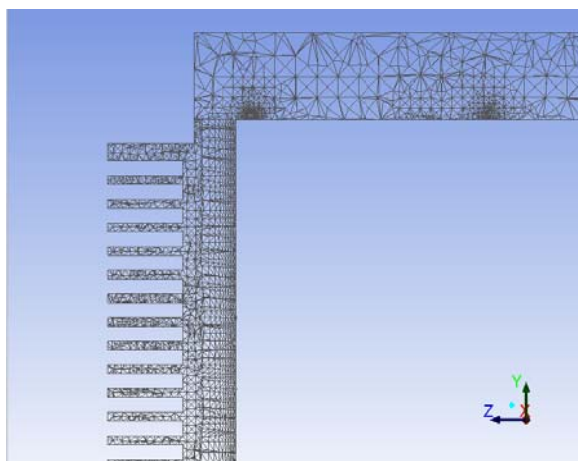


Рис. 1. Расчетная сетка для верхней части гильзы цилиндра

Граничные условия по верхнему торцу гильзы были заданы в форме условий четвертого рода. Температура на торце была принята равной температуре нижней поверхности головки цилиндра. Значения этой температуры взяты по результатам термометрирования днища головки цилиндров. Учитывая плотное прижатие поверхностей гильзы и головки, контактным сопротивлением газового стыка пренебрегали.

Задача решалась в квазистационарной постановке. Тепловой поток в стенку цилиндра вычисляли для последовательных фиксированных положений поршня. Каждое из которых отличалось от соседнего на величину перемещения, соответствующую повороту коленчатого вала на один градус. Результирующий тепловой поток через стенку цилиндров за цикл был найден суперпозицией тепловых потоков, найденных для каждого из положений поршня.

Для удобства расчетов в среде ANSYS зависимости температуры газа и коэффициента теплоотдачи в камере сгорания от угла поворота коленчатого вала были аппроксимированы полиномами.

Значения тепловых потоков через поршневые кольца определялись в процентном отношении от тепловых потоков, воспринимаемых зеркалом цилиндра от горения топлива. Числовые значения указанных соотношений взяты согласно рекомендациям [3, 4].

В табл. 1 приведены результаты расчета максимальных температур «зеркала» цилиндра двигателя 8ЧВН 15/16 на различных уровнях форсирования. Величина  $H_p$  показывает положение днища поршня относительно газового стыка, то есть относительно верхнего торца гильзы.

Графическая иллюстрация характера изменения температуры внутренней поверхности гильзы цилиндра по ее высоте представлена на рис. 2.

Таблица 1

Значения температур «зеркала» цилиндра двигателя 8ЧВН 15/16

| Параметр          | $N_e = 309 \text{ кВт}, n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $H_p, \text{ мм}$ | 2                                                  | 25    | 50    | 75    | 100   | 125   | 150   | 160   |
| $T, \text{ К}$    | 485,5                                              | 458,0 | 439,5 | 413,0 | 391,0 | 375,5 | 365,0 | 362,0 |
|                   | $N_e = 375 \text{ кВт}, n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ |       |       |       |       |       |       |       |
| $H_p, \text{ мм}$ | 2                                                  | 25    | 50    | 75    | 100   | 125   | 150   | 160   |
| $T, \text{ К}$    | 496,5                                              | 462,0 | 439,0 | 411,0 | 392,0 | 375,5 | 365,0 | 363,0 |
|                   | $N_e = 404 \text{ кВт}, n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ |       |       |       |       |       |       |       |
| $H_p, \text{ мм}$ | 2                                                  | 25    | 50    | 75    | 100   | 125   | 150   | 160   |
| $T, \text{ К}$    | 495,0                                              | 458,0 | 433,5 | 408,0 | 389,0 | 375,5 | 365,0 | 362,0 |

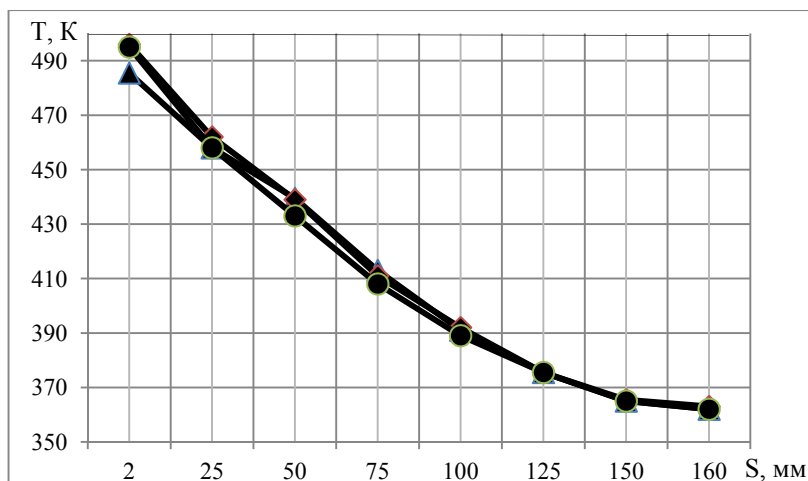
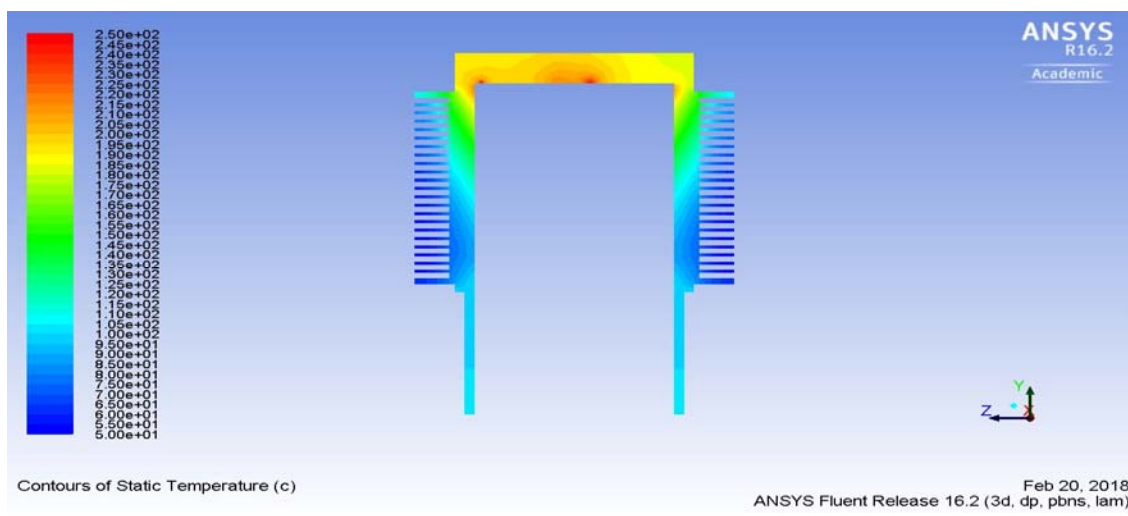


Рис. 2. Значения температур «зеркала» цилиндра двигателя 8ЧВН 15/16:

▲ –  $N_e = 309$  кВт,  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>; ◆ –  $N_e = 375$  кВт,  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>; ● –  $N_e = 404$  кВт,  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>

На рис. 3. приведено для одного из расчетных режимов графическое изображение всего поля температур в стенке цилиндра дизеля 8ЧВН15/16. Как видно, максимальные температуры и вместе с тем максимальные градиенты температуры по толщине стенки гильзы цилиндра наблюдаются вблизи газового стыка, то есть в зоне контакта торца цилиндра с поверхностью головки. Величина максимального гради-

ента температуры в указанной зоне гильзы цилиндра достигает 0,84 К/мм. Следует отметить, что указанное значение градиента примерно втрое меньше максимального градиента температуры на днище головки цилиндра. Согласно результатам термометрирования днища, значение градиента температуры в зоне межклапанной перемычки доходит до 2,5 К/мм.

Рис. 3. Поле температур цилиндра дизеля 8ЧВН 15/16 на режиме  $N_e = 404$  кВт,  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>

В целом проведенное моделирование температурных полей гильзы цилиндра дизеля воздушного охлаждения при различных уровнях его форсирования по среднему эффективному давлению позволяет сделать вывод о том, что гильза цилиндров не является тем элементом цилиндропоршневой группы, термическая напряженность которого определяет пределы форсирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кавтарадзе, Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учеб. пособие / Р. З. Кавтарадзе. – Мо-

сква: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 591 с.

2. Васильев, А. В. Повышение эффективности и надежности системы газораспределения ДВС на основе комплексного подхода к синтезу его характеристик: дисс. ... д-ра техн. наук / А. В. Васильев. – Волгоград, 2000. – 483 с.

3. Поспелов, Д. Р. Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением. Теория и расчет / Д. Р. Поспелов. – Москва: Машиностроение, 1971. – 535 с.

4. Теория двигателей внутреннего сгорания: рабочие процессы: учебник / под ред. Н. Х. Дьяченко. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Ленинград: Машиностроение, 1974. – 552 с.

УДК 629.3.027.3

*М. П. Малиновский, В. В. Кувшинов, А. А. Федоров, Г. А. Беджанов***КОНСТРУКЦИИ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКИ  
С НИЗКИМ УРОВНЕМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ****Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет (МАДИ)**

E-mail: ntbmadi@gmail.com

На заре автомобилестроения гонки были естественным способом проверить новые технологии и разработки. В XX веке автомобильные соревнования приобрели преимущественно спортивный, а затем и коммерческий характер. Пользу автоспорта для современных технологий часто ставят под сомнение. Однако нельзя отрицать, что многие разработки получили широкое применение во многом благодаря автогонкам. Одной из таких разработок является активная подвеска. В статье рассмотрены различные конструкции подвески, разработанные инженерами «Формулы-1».

*Ключевые слова:* системы управления, активная подвеска, автоспорт.

*M. P. Malinovsky, V. V. Kuvshinov, A. A. Fedorov, G. A. Bedjanov***CONSTRUCTIONS OF ACTIVE SUSPENSION  
WITH LOW LEVEL OF ENERGY CONSUMPTION****Moscow automobile and road  
construction state technical university (MADI)**

At the dawn of the automotive industry, race was a natural way to test new technologies and developments. In the XX century, automobile competitions acquired primarily sports, and then commercial. The benefits of motorsport for modern technology are often questioned. However, it cannot be denied that many developments have received wide application largely due to auto racing. One of these developments is the active suspension. In the article various designs of a suspension developed by engineers of "Formula-1" are considered.

*Ключевые слова:* control systems, active suspension, autosport.

Подвеска, соединяя между собой движитель и несущую систему, выполняет следующие основные функции [1]:

- 1) передает на шасси силы и моменты, возникающие при движении;
- 2) снижает нагрузки на пассажиров, груз, кузов и агрегаты автомобиля от воздействия колебаний, обеспечивает их затухание;
- 3) обеспечивает постоянный контакт колес с дорожным покрытием;
- 4) способствует повышению устойчивости движения.

С увеличением жесткости упругих элементов подвески возрастает собственная частота  $\omega_0$  и уменьшается амплитуда колебаний кузова. Для неподрессоренных масс  $\omega_0 = 10 \dots 17$  Гц. Колебания с частотой  $\omega = 1$  Гц могут вызывать тошноту (в зависимости от индивидуальной восприимчивости), диапазон  $\omega = 1,5 \dots 8$  Гц совпадает с резонансными частотами внутренних органов человека, а колебания с частотой более 5 Гц воспринимаются как вибрации. Поэтому параметры подвески дорожного автомобиля подбирают таким образом, чтобы  $\omega_0$  поддрессо-

ренных масс составляла  $1,0 \dots 1,5$  Гц. Чтобы снизить ударные нагрузки на кузов, неподрессоренные массы стремятся уменьшить.

При проектировании дорожных автомобилей с традиционной системой поддрессирования и передним расположением двигателя заднюю подвеску рассчитывают на более высокую  $\omega_0$ , чтобы компенсировать изменение загрузки (от снаряженной до полной массы автомобиля). Настройка подвески гоночных автомобилей имеет свою специфику, при этом важны вспомогательные функции подвески:

- 1) обеспечение максимальной аэродинамической эффективности (зависит от формы поперечных рычагов);
- 2) поддержание дорожного просвета для достижения максимальной прижимной силы;
- 3) обеспечение эффективной работы шин.

При увеличении скорости движения возрастает аэродинамическая нагрузка на антикрылья, прижимающая шасси к дороге. Однако высота дорожного просвета в передней части машины должна быть как можно меньшей, что крайне важно для общей прижимной силы. При замед-

лении гоночных автомобилей «Формулы-1», которое достигает 5,8 g, возникает дифферент, приводящий к увеличению дорожного просвета в задней части автомобиля. Задняя ось становится нестабильной при входе в поворот вследствие уменьшения не только весовой нагрузки, но и аэродинамической прижимной силы. Чтобы обеспечить стабильность дорожного просвета при изменении загрузки и действии сил инерции, применяют различные конструкции активной подвески.

Британский инженер и руководитель команды «Лотус» Колин Чепмен в 1977 году впервые попробовал перенести принцип трубки Бернулли, используемый в работе антикрыльев, на кузов гоночного автомобиля. Данное явление, получившее название «граунд-эффект» (англ. *ground effect*), заключалось в создании разрежения между днищем кузова и дорожной поверхностью, чтобы увеличить прижимную силу. В 1981 году Колин Чепмен нашел интересное решение, позволяющее эффективно использовать граунд-эффект, – так называемое «двойное шасси». Новый «Лотус-88» оснащался двойной системой подрессоривания: внутренний несущий монокок, в котором размещались гонщик и двигатель, был связан с колесами мягкой подвеской, а наружный кузов, воспринимавший аэродинамические нагрузки, – жесткой. На высоких скоростях наружный кузов прижимался к дорожной поверхности и перекрывал доступ воздуха под днище.

В 1983 году конструктор «Лотус» Питер Райт разработал первую активную подвеску двухстороннего действия (с принудительным отбоем и сжатием). Гидроцилиндр каждого колеса управлялся четырьмя клапанами. Характеристика отрицательной обратной связи между ходом датчика дорожного просвета, установленного на гидроцилиндре, и усилием на штоке гидроцилиндра получилась практически релейной, что вызывало толчки, ослабляющие граунд-эффект. Четыре года ушло на доработку. В конечном варианте система на «Лотус-99Т» в 1986 году имела следующие дополнительные датчики: скорости автомобиля; динамического давления воздуха (трубка Пито); продольного и поперечного ускорения автомобиля; угла поворота и угловой скорости рулевого колеса; силы и ее приращения на педалях акселератора и тормоза; давления масла и его приращения в гидроцилиндрах подвески (для определения усилия).

Отрицательная обратная связь между датчиком дорожного просвета и давлением в гидроцилиндре сохраняла постоянным дорожный просвет в подвеске каждого колеса. Сжатие пружины при наезде на неровность отрицательная обратная связь симулировала подъемом гидроцилиндра по сигналу от датчиков дорожного просвета и давления масла в гидроцилиндре. Чем больше приращение силы в гидроцилиндре, тем больше ускорение открытия клапана гидроцилиндра, и тем быстрее скорость сжатия подвески. Отрицательная обратная связь между ускорением автомобиля и эталонной силой позволяла посредством клапанов гидроцилиндра уравнивать значение давления масла в гидроцилиндре с эталонной силой. При уменьшении дорожного просвета эталонная сила в диапазоне свыше 0,6 Гц возрастала прогрессивно, в диапазоне 0...0,6 Гц – линейно. При торможении увеличивалось усилие в гидроцилиндрах передних колес, при разгоне – задних колес. Управление клапанами гидроцилиндров производилось превентивно, не дожидаясь возникновения крена или дифферента кузова.

Активная подвеска уменьшала износ шин и давала преимущество на узких, маневренных городских трассах с неровным покрытием. Но на остальных автодромах достоинства активной подвески нивелировались рядом существенных недостатков. Активная подвеска «Лотус-99Т» весила на 12 кг больше традиционной, на пиковых режимах отбирала у двигателя до 5 % мощности (30...40 л.с.) и сложно настраивалась (в бортовой компьютер были заложены 60 режимов работы). Чтобы постоянно перекачивать большой объем жидкости между баками и сервоприводами, пришлось использовать авиационные технологии. Но главное – гонщик лишился привычных ощущений (например, дифферента кузова при торможении), поведение автомобиля казалось ему непривычным и нелогичным, что приводило к опасным ситуациям. Так, если возникал «медленный» прокол шины, активная подвеска компенсировала изменение дорожного просвета, и гонщик ничего не замечал, пока шина не взрывалась.

В 1987 году команда «Вильямс» внедрила активную подвеску одностороннего действия (с принудительным отбоем). На сжатие гидроцилиндр работал как обычный амортизатор, пропуская масло через дроссельный клапан с сечением, изменяемым по команде бортового компьютера. Принцип действия был аналогич-

чен разработке «Лотус», но количество клапанов уменьшилось до двух на каждый гидроцилиндр, общая масса уменьшилась на 33 %, непрессоренные массы – на 20 %. Отбор мощности на пиковых режимах составлял 2...3 % (10...15 л.с.). Активная подвеска позволяла изменять настройки в соответствии с состоянием трассы, перераспределением веса по осям, давлением в шинах и их состоянием. Уменьшение вибрационных нагрузок снижало утомляемость гонщика, увеличивало ресурс двигателя, трансмиссии и шин. Активная подвеска попала под запрет в конце 1993 года по политическим соображениям, и с тех пор инженеры «Формулы-1» направили свои усилия на оптимизацию конструкции традиционной подвески.

В 2005 году команда «МакЛарен» впервые использовала так называемые инерционные демпферы (англ. *J-dampers*), в сочетании с которыми устанавливались традиционные амортизаторы. Инерционный демпфер генерирует противодействие, пропорциональное не скорости, а ускорению, с которым концы амортизатора перемещаются относительно друг друга. Неподпрессоренные и подпрессоренные массы соединяются инертером, в котором находится маховик, вращающийся в соответствии с относительным перемещением точек крепления. Инертер, в отличие от амортизатора, предназначен для аккумуляирования, а не рассеивания энергии.

В конце 2005 года на «Рено R25» внутри носового обтекателя подвесили демпфер масс – небольшой свинцовый шарик, который предназначался для уменьшения амплитуды колебаний колес. Демпфер масс соединялся гидравлически с тем колесом, которое подвергалось колебаниям. К следующему сезону инженеры «Рено» доработали систему, распространив ее на заднюю ось. Диск массой 9 кг подпружинили (рис. 1). Система позволяла проходить повороты более агрессивно, так как автомобиль быстрее «приземлялся» на ходе отбоя. По ходу сезона 2006 года были запрещены как «подвижный аэродинамический элемент», хотя ранее были признаны легальными.

Нельзя доподлинно установить, была ли известна конструкция гидробалансирной подвески, появившейся на МА3-547А в 1970 году, инженерам команды «Тиррелл», которые в 1995 году пробовали разработать продольную гидравлическую связь между передней и задней подвеской. Их концепцию в 2008 году возродила команда «Рено», испытав первый современный

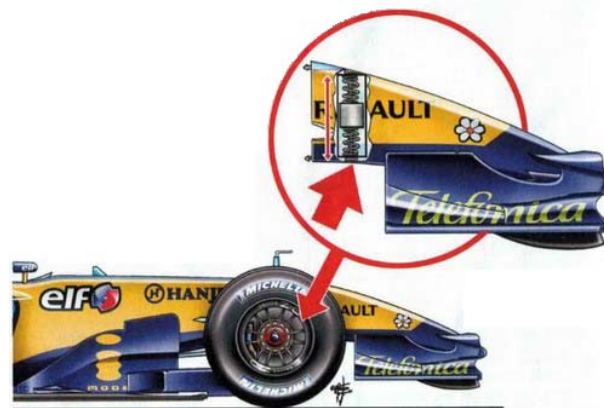


Рис. 1. Демпфер масс (источник: Джорджо Пиола)

вариант подвески, которая получила название FRIC (сокр. англ. *front/rear interconnected*). Система позволяла контролировать изменение дифферента при торможениях и ускорениях. Чтобы подвеска не была чрезмерно жесткой на малых скоростях, в ней использовались газонаполненные амортизаторы PDC (сокр. англ. *pneumatic damping control*), которые блокировались при превышении определенной скорости.

В 2011 году команда «Мерседес» разработала свой вариант подвески FRIC, который благодаря продольно-диагональной гидравлической связи подвески всех колес контролировал и дифферент, и крен – по отдельности или в сочетании. Такая конструкция позволяла сохранять дорожный просвет и сцепление колес с дорогой постоянными при торможении на входе в поворот.

Конструкция подвески FRIC заключается в следующем (рис. 2). Тяги подвески 1 через двуплечие рычаги (рокеры) 2 сопряжены с гидроцилиндрами 3, 4, 5, 6 двухстороннего действия. Передние гидроцилиндры 3 и 4 соединены между собой трубопроводами по диагональной схеме, то есть штоковая полость гидроцилиндра 3 соединена с поршневой полостью гидроцилиндра 4, и наоборот. Аналогично соединены задние гидроцилиндры 5 и 6. В свою очередь, передние и задние гидроцилиндры также соединены между собой через управляющий коллектор 7, совмещенный с главным гидроаккумулятором. Использовался также вариант с дополнительным центральным гидроцилиндром, предназначенным для контроля вертикальных перемещений.

Уменьшение дорожного просвета при разгоне, торможении и повороте вынуждает подвеску работать на сжатие, при этом происходит повышение давления в соответствующем гид-

роцилиндре. Жидкость перетекает в противоположную сторону, противодействуя изменению дорожного просвета. По мере увеличения давления в гидроцилиндре сопротивление подвески сжатию увеличивается. Настройка характеристик подвески FRIC осуществляется регулированием проходных сечений в клапанном блоке управляющего коллектора 7, что составляет определенную сложность [2; 3]. Данный подход не подразумевает использования насоса и электроники, система управляется под действием инерционных сил, то есть по сути является пассивной. Тем не менее посередине сезона 2014 года подвеску FRIC запретили.

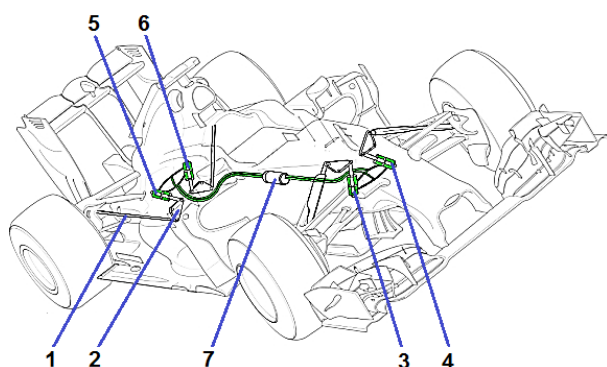


Рис. 2. Подвеска FRIC  
(источник: theWPTformula.com)

Ровно через два года «Мерседес» опробовала новое устройство, предотвращающее возникновение дифферента при продольных перегрузках. Система пружин и амортизаторов с нелинейными характеристиками реагирует на нагрузку более сложным образом, чем классическая схема подвески. Устройство делает подвеску жесткой на высоких скоростях, повышая аэродинамическую стабильность шасси, и мягкой – на низких. Особое внимание уделяется переходному режиму между двумя состояниями. Такой подход позволяет просчитывать работу механических и аэродинамических компонентов в каждом повороте.

В том же 2016 году команда «Ред Булл» разработала еще более сложную систему НРС (сокр. англ. *hydraulic pitch control*), которая позволяла поглощать энергию и затем повы-

шать аэродинамическую эффективность автомобиля за счет ее повторного использования путем передачи пружинам или другим элементам подвески. Установленные по трем осям координат гидроаккумуляторы с набором больших и малых камер воспринимают все виды колебаний. Заложенная детализированная математическая модель позволяет описать все процессы таким образом, чтобы отклик подвески в каждом повороте был оптимальным.

В последние годы глобальная экологическая ситуация требует разработки различных рекуперативных систем на транспорте, особенно, на автомобилях с комбинированными энергетическими установками. К ним относятся, например, рекуперативная тормозная система, тротуары, преобразующие нагрузку от ходьбы пешеходов в электроэнергию. Одновременно находит применение «связанное» управление торможением передних и задних колес [4]. Конструкции активной подвески с низким уровнем энергопотребления, разработанные для автогонок, могут и должны применяться на дорожных автомобилях, в том числе большегрузных. С увеличением полной массы возрастают инерционные силы, а, значит, эффект от применения рекуперативной системы поддрессирования будет еще заметнее.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции многоцелевых гусеничных и колесных машин: учебник / Г. И. Гладов, А. В. Вихров, С. В. Зайцев, В. В. Кувшинов, В. В. Павлов; под ред. Г. И. Гладова. – М.: Академия, 2010. – 400 с.
2. Дыгало, В. Г. Разработка алгоритма управления двухпозиционными клапанами для электрогидравлической тормозной системы, методами виртуально-физической технологии моделирования / В. Г. Дыгало // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2010. – Т. 3, № 10. – С. 37-40.
3. Домогаров, А. Ю. Оснащение стенда «Карусель» системой регулировки вертикальной нагрузки и системой торможения на нагрузочном модуле / А. Ю. Домогаров // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015. – № 1. – С. 5.
4. Рязанцев, В. А. Метод повышения эффективности тормозного управления колесных машин / В. А. Рязанцев, А. М. Ахметшин // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 7. – С. 17-20.

УДК 66.048.3-932.2

**А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, Н. А. Прохоренко, М. В. Топилин**  
**К ВОПРОСУ О РАСЧЕТАХ ОПТИМАЛЬНОГО ФЛЕГМОВОГО ЧИСЛА**  
**РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: natasha292009@yandex.ru

Проводится сравнение расчетов оптимального флегмового числа, минимизирующего объем ректификационной колонны по типовому алгоритму через число теоретических тарелок, с алгоритмом через число единиц переноса с учетом коэффициентов массоотдачи по паровой и кипящей жидкой фазам и коэффициента массопередачи.

*Ключевые слова:* оптимальное флегмовое число, число теоретических тарелок, число единиц переноса, коэффициенты массоотдачи и массопередачи, минимальный объем колонны, уравнения рабочих и равновесных линий.

**A. B. Golovanchikov, N. A. Merencov, N. A. Prokhorenko, M. V. Topilin**  
**TO THE QUESTION OF THE CALCULATIONS OF THE OPTIMUM**  
**FLEGMIC NUMBER OF THE RECTIFICATION COLUMN**

**Volgograd State Technical University**

Comparison the calculation of the optimum reflux ratio minimizing the volume of the distillation column according to a typical algorithm by the number of theoretical plates with the algorithm by the number of transfer units taking into account the massoutput coefficients for steam and boiling liquid phases and the mass transfer coefficient.

*Keywords:* optimal reflux ratio, number of theoretical plates, number of transfer units, massoutput and mass transfer coefficients, minimum column volume, equations of working and equilibrium lines.

Наиболее известный метод расчета оптимального флегмового числа ректификационной колонны основан на минимизации объема колонны, пропорционального произведению суммарного числа теоретических тарелок в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны на  $(R_T+1)$  [1].

$$U_T = (R_T + 1) \cdot (N_y + N_u). \quad (1)$$

В уравнении (1) первый сомножитель пропорционален расходу пара, а значит площади сечения колонны, второй – высоте колонны. На самом деле объем тарельчатой колонны:

$$V_T = [G_d \cdot (R_T + 1) / \rho_n \cdot \omega_T] \cdot (N_y \cdot h_{Ty} + N_u \cdot h_{Tu}),$$

где  $R_T$  – оптимальное флегмовое число, рассчитываемое через число теоретических тарелок;  $[G_d \cdot (R_T + 1) / \rho_n \cdot \omega_T]$  – площадь сечения колонны;  $h_{Ty}$  и  $h_{Tu}$  – расстояние между тарелками в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны выбирается в зависимости от типа тарелки, а фиктивная скорость в сечении может быть определена по формуле:

$$\omega_T = C \sqrt{(\rho_{жс} - \rho_n) / \rho_n}.$$

Например, для ситчатых тарелок при расстоянии между тарелками  $h_{Ty} = h_{Tu} = 0,4$  м,  $C = 0,06$ .

Формула минимизации объема колонны (1) не учитывает того, что плотности паровой фазы, скорости паров и высоты между тарелками в каждой части колонны могут быть различными, хотя обычно считают последние равными ( $h_{Ty} = h_{Tu}$ ) и при расчетах минимизации объемов колонны формулы (1) и (2) различаются только произведением сомножителей, стоящих в знаменателе выражения в квадратных скобках.

$$U_T = (R_T + 1) \cdot \left[ \frac{N_y}{\rho_{ny} \omega_{ny}} + \frac{N_u}{\rho_{nu} \omega_{nu}} \right]. \quad (2)$$

Число теоретических тарелок при неизвестном аналитическом выражении для равновесной линии  $y^* = y^*(x)$  можно рассчитывать с использованием линейной кусочной аппроксимации этой зависимости, заданной в виде таблицы [2]. Однако удобнее проводить такие расчеты, предварительно аппроксимируя эту табличную зависимость в виде алгебраического уравнения [3].

$$y^* = \frac{1}{1 + K \left( \frac{1}{x} - 1 \right)^n}, \quad (3)$$

где  $K$  и  $n$  – определяются методом наименьших квадратов.

Для азеотропных бинарных смесей уравнение (3) принимает вид [4]:

$$y^* = \frac{x_0}{1 + K \left( \frac{x_0}{x} - 1 \right)^n}. \quad (4)$$

Для рассмотренных двух десятков бинарных смесей, равновесие которых задано в виде табличных зависимостей максимальные локаль-

ные отклонения теоретических значений  $y^*$  от табличных не превышает  $\pm 6\%$ , а средние лежат в пределах  $1 \div 2\%$ .

В табл. 1 приведены результаты аппроксимации табличной зависимости по равновесию бинарной смеси «метанол–вода» уравнением (3), из которых видно, что максимальное локальное отклонение теоретического значения  $y^*$  от табличного  $y_m$  не превышает  $4,5\%$ , а средние  $1,5\%$ .

Таблица 1

**Равновесная зависимость концентрации легколетучего компонента в паре от его концентрации в кипящем растворе и аппроксимация этой зависимости алгебраическим уравнением (3)**

| № | Наименование параметра                          | Размерность            | Обозначение  | Величина параметра |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    |
|---|-------------------------------------------------|------------------------|--------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 1 | Номер точки в массиве                           | –                      | $i$          | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14 |
| 2 | Концентрация А в растворе                       | кмольА/<br>кмоль (А+В) | $x_m$        | 0                  | 0,02  | 0,04  | 0,06  | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1  |
| 3 | Концентрация А в паре                           | кмольА/<br>кмоль (А+В) | $y_m$        | 0                  | 0,144 | 0,230 | 0,304 | 0,418 | 0,579 | 0,665 | 0,729 | 0,779 | 0,825 | 0,870 | 0,915 | 0,958 | 1  |
| 4 | Теоретическое значение концентрации А в паре    | кмольА/<br>кмоль (А+В) | $y^*$        | 0                  | 0,15  | 0,236 | 0,31  | 0,399 | 0,557 | 0,657 | 0,730 | 0,789 | 0,836 | 0,878 | 0,917 | 0,954 | 1  |
| 5 | Относительное отклонение теории от эксперимента | кмольА/<br>кмоль (А+В) | $\delta, \%$ | 0                  | 4,1   | 2,48  | -0,97 | -4,47 | -3,89 | -1,24 | 0,15  | 1,15  | 1,36  | 0,95  | 0,18  | -0,41 | 0  |

Результаты расчетов оптимального флегмового числа для бинарной смеси «метанол–вода» по известной формуле (1) и формуле (2), учитывающей плотности и скорости пара, представлены в табл. 2. Как видно из этих данных, величина оптимального флегмового числа, число теоретических тарелок в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны совпадают до второго знака после запятой, хотя сами функции минимизации объемов колонны значительно отличаются, последнее касается также диаметров каждой части колонны и плотностей пара в них. Этими двумя параметрами, входящими в виде сомножителей в уравнение (2), последнее отличается от уравнения (1), но в функциях минимизации объема колонны это различие нивелируется.

Обычно и для насадочных колонн расчет оптимального флегмового числа проводится через число теоретических тарелок по формуле (1), хотя в теоретической тарелке предполагается идеальное смешение по кипящей жидкости и идеальное вытеснение по пару 10 и более тарелок идеального перемешивания, как известно, приводят и по жидкости к идеальному вытесне-

нию [5, 6], то есть в тарельчатой колонне предполагается при расчетах, что обе фазы имеют структуру потоков идеального вытеснения.

Выведем формулу для расчета объема ректификационной колонны без определения числа теоретических тарелок, а используя для этого расчета число единиц переноса – ЧЕП.

Запишем уравнение элементарной массопередачи по паровой фазе для легколетучего компонента:

$$dM_A = K_y dV (y^* - y), \quad (5)$$

где  $K_y$  – мольный объемный коэффициент мас-

сопередачи 
$$\left[ \frac{\text{кмоль}A}{M^3 C \frac{\text{кмоль}A}{\text{кмоль}(A+B)}} \right].$$

Уравнение элементарного материального баланса поэтому же компоненту:

$$dM_A = [G_d (R_n + 1) / M_n] dy, \quad (6)$$

где  $M_n$  – средняя молекулярная масса пара.

Приравнявая правые части уравнений (5) и (6) после разделения переменных и интегрирования, получаем

$$V_n = \frac{G_d(R_n + 1)}{K_y M_n} \int_{y_n}^{y_n^*} \left( \frac{dy}{y^* - y} \right), \quad (7)$$

где  $R_n$  – оптимальное флегмовое число, рассчитываемое через число единиц переноса.

Суммарный объем укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны, выраженный через числа их переноса, можно записать в виде уравнения:

$$V_{об} = [G_d(R + 1)] \cdot \left[ \frac{ЧЕП_y}{K_{yy} \cdot M_{cy}} + \frac{ЧЕП_u}{K_{yu} \cdot M_{cu}} \right]. \quad (8)$$

Полагая, как и в формуле (2), при переходе к массопередаче  $K_{yy} \approx K_{yu} = const$ , получаем упрощенную формулу для расчета функции минимизации объема ректификационной колонны через число единиц переноса:

$$ЧЕП = (R_n + 1) \cdot \left[ \frac{ЧЕП_y}{M_{cy}} + \frac{ЧЕП_u}{M_{cu}} \right]. \quad (9)$$

Для насадочной ректификационной колонны расчет оптимального флегмового числа мож-

но осуществлять через число теоретических тарелок и высоту насадки, эквивалентную одной теоретической тарелки, тогда функция минимизации объема колонны будет определяться по формуле и равна самому минимальному объему:

$$V_k = \pi / 4 (D_{ky}^2 \cdot Y_n \cdot h_y + D_{ku}^2 \cdot U_n \cdot h_u), \quad (10)$$

где  $h_y$  и  $h_u$  – высота насадки, эквивалентная одной теоретической тарелки, в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны соответственно, зависящие от флегмового числа.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 2, показывают, что оптимальное флегмовое число и для тарельчатых колонн, рассчитанное по формулам (1) и (2) и для насадочной колонны, рассчитанное по формуле (10), различается более чем на 10 %, хотя другие параметры сами высоты колонны и их диаметры могут отличаться значительно (причем формулы (8) и (9) справедливы для обоих типов колонны как тарельчатых, так и насадочных – см. вывод формулы (8).

Таблица 2

Исходные и справочные данные и расчетные параметры ректификационной колонны для бинарной смеси «метанол–вода»

| №                 | Наименование параметра                               | Размерность                    | Обозначение   | Величина             |
|-------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------|
| 1                 | 2                                                    | 3                              | 4             | 5                    |
| Исходные данные   |                                                      |                                |               |                      |
| 1                 | Производительность по исходной смеси                 | кг/ч                           | $G_f$         | 15000                |
| 2                 | Массовая концентрация легколетучего в исходной смеси | кгА/ кг(А+В)                   | $\bar{x}_f$   | 0,55                 |
| 3                 | Массовая концентрация легколетучего в дистилляте     | кгА/ кг(А+В)                   | $\bar{x}_d$   | 0,94                 |
| 4                 | Массовая концентрация легколетучего в кубе           | кгА/ кг(А+В)                   | $\bar{x}_k$   | 0,01                 |
| 5                 | Температура исходной смеси на входе                  | °С                             | $t_H$         | 20                   |
| 6                 | Давление в колонне                                   | атм                            | $p$           | 1,033                |
| Справочные данные |                                                      |                                |               |                      |
| 1                 | Молекулярная масса легколетучего компонента А        | кгА/ кмольА                    | $M_a$         | 32                   |
| 2                 | Молекулярная масса труднолетучего компонента В       | кгВ/ кмольВ                    | $M_b$         | 18                   |
| 3                 | Температура кипения исходной смеси                   | °С                             | $t_f$         | 77                   |
| 4                 | Температура кипения дистиллята                       | °С                             | $t_d$         | 68,5                 |
| 5                 | Температура кипения кубовой жидкости                 | °С                             | $t_k$         | 100                  |
| 6                 | Теплоемкость исходной смеси                          | кДж/кг К                       | $C_f$         | 3,49                 |
| 7                 | Теплоемкость дистиллята                              | кДж/кг К                       | $C_d$         | 2,63                 |
| 8                 | Теплоемкость кубовой жидкости                        | кДж/кг К                       | $C_k$         | 4,19                 |
| 9                 | Удельная теплота парообразования дистиллята          | кДж/кг                         | rd            | 1113                 |
| 10                | Удельная поверхность насадки                         | м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> | $\sigma$      | 87,5                 |
| 11                | Свободный объем                                      | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | $\varepsilon$ | 0,41                 |
| 12                | Вязкость пара в укрепляющей части колонны            | Па·с                           | $\mu_y$       | $1,55 \cdot 10^{-5}$ |
| 13                | Вязкость пара в исчерпывающей части колонны          | Па·с                           | $\mu_u$       | $1,3 \cdot 10^{-5}$  |

Продолжение табл. 2

| №                   | Наименование параметра                                                                                      | Размерность         | Обозначение    | Величина             |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| 1                   | 2                                                                                                           | 3                   | 4              | 5                    |
| 14                  | Средняя вязкость кипящего раствора                                                                          | Па·с                | $\mu_l$        | $3,7 \cdot 10^{-4}$  |
| 15                  | Средняя плотность кипящего раствора                                                                         | кг/м <sup>3</sup>   | $\rho_e$       | 873                  |
| 15a                 | Средняя плотность кипящего раствора в укрепляющей части колонны                                             | кг/м <sup>3</sup>   | $\rho_{ly}$    | 826                  |
| 15b                 | Средняя плотность кипящего раствора в исчерпывающей части колонны                                           | кг/м <sup>3</sup>   | $\rho_{lu}$    | 952                  |
| 16                  | Равновесная зависимость концентрации легколетучего компонента в паре от его концентрации в кипящем растворе | кмольА / кмоль(А+В) | $y_m$<br>$x_m$ | см. табл. 1          |
| 17                  | Число параметров в равновесной зависимости                                                                  | —                   | $m$            | 14                   |
| 18                  | Коэффициент для расчета фиктивной скорости в колонне с ситчатыми тарелками                                  | м/с                 | $c$            | 0,06                 |
| 19                  | Расстояние между тарелками                                                                                  | м                   | $\Delta h$     | 0,4                  |
| 20                  | Удерживающая способность по жидкой фазе                                                                     | —                   | $Y_{ds}$       | 0,18                 |
| Расчетные параметры |                                                                                                             |                     |                |                      |
| 1                   | Эквивалентный диаметр насадки                                                                               | м                   | $d_s$          | $1,87 \cdot 10^{-2}$ |
| 2                   | Средняя температура укрепляющей части колонны                                                               | °С                  | $t_y$          | 72,75                |
| 3                   | Средняя температура исчерпывающей части колонны                                                             | °С                  | $t_u$          | 88,5                 |
| 4                   | Расход дистиллята                                                                                           | кг/ч                | $G_d$          | 8709,7               |
| 5                   | Расход кубовой жидкости                                                                                     | кг/ч                | $G_k$          | 6290,3               |
| 6                   | Абсолютная мольная концентрация легколетучего в дистилляте                                                  | кмольА/ кмоль (А+В) | $x_d$          | 0,898                |
| 7                   | Абсолютная мольная концентрация легколетучего в кубе                                                        | кмольА/ кмоль (А+В) | $x_k$          | $5,65 \cdot 10^{-3}$ |
| 8                   | Абсолютная мольная концентрация легколетучего в исходной смеси                                              | кмольА/ кмоль (А+В) | $x_f$          | 0,407                |
| 9                   | Средняя молекулярная масса в дистилляте                                                                     | кг/ кмоль           | $M_d$          | 30,57                |
| 10                  | Средняя молекулярная масса в кубе                                                                           | кг/ кмоль           | $M_f$          | 23,7                 |
| 11                  | Средняя молекулярная масса в исходной смеси                                                                 | кг/ кмоль           | $M_k$          | 18,1                 |
| 12                  | Число питания                                                                                               | —                   | $F$            | 2,22                 |
| 13                  | Средняя молекулярная масса в укрепляющей части колонны                                                      | кг/ кмоль           | $M_{cy}$       | 27,1                 |
| 14                  | Средняя молекулярная масса в исчерпывающей части колонны                                                    | кг/ кмоль           | $M_{cu}$       | 20,9                 |
| 15                  | Плотность пара в укрепляющей части колонны                                                                  | кг/ м <sup>3</sup>  | $\rho_y$       | 0,96                 |
| 16                  | Плотность пара в исчерпывающей части колонны                                                                | кг/ м <sup>3</sup>  | $\rho_u$       | 0,704                |
| 17                  | Минимальное флегмовое число                                                                                 | —                   | $R_m$          | 0,499                |
| 18                  | Тангенс угла наклона равновесной линии в укрепляющей части колонны                                          | —                   | $m_y$          | 0,445                |
| 19                  | Тангенс угла наклона равновесной линии в исчерпывающей части колонны                                        | —                   | $m_u$          | 1,678                |
| 20                  | Средняя концентрация легколетучего компонента в укрепляющей части колонны                                   | кмольА/ кмоль (А+В) | $x_{cy}$       | 0,653                |
| 21                  | Средняя концентрация легколетучего компонента в исчерпывающей части колонны                                 | кмольА/ кмоль (А+В) | $x_{cu}$       | 0,207                |
| 22                  | Равновесная концентрация в паре для исходной смеси                                                          | кмольА/ кмоль (А+В) | $yfp$          | 0,735                |
| 23                  | Равновесная концентрация в паре для кубовой жидкости                                                        | кмольА/ кмоль (А+В) | $ykp$          | 0,061                |

Продолжение табл. 2

| №                                                                                                                                                                                                          | Наименование параметра                                                                                  | Размерность         | Обозначение   | Величина       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|----------------|
| 1                                                                                                                                                                                                          | 2                                                                                                       | 3                   | 4             | 5              |
| 24                                                                                                                                                                                                         | Равновесная концентрация в паре для дистиллята                                                          | кмольА/ кмоль (А+В) | $y_{dp}$      | 0,953          |
| 25                                                                                                                                                                                                         | Коэффициенты уравнения (4), аппроксимирующего табличную зависимость по равновесию бинарной смеси        | —                   | $k$<br>$n$    | 0,269<br>0,783 |
| 26                                                                                                                                                                                                         | Фиктивная скорость пара в укрепляющей части колонны                                                     | м/с                 | $\omega_{by}$ | 1,76           |
| 27                                                                                                                                                                                                         | Фиктивная скорость пара в исчерпывающей части колонны                                                   | м/с                 | $\omega_{by}$ | 2,205          |
| 28                                                                                                                                                                                                         | Тепловая мощность кипятильника куба                                                                     | кВт                 | $Q_k$         | 6203,4         |
| Расчет параметров, связанных с оптимальным флегмовым числом, через число теоретических тарелок по формуле (1) – типовой расчет                                                                             |                                                                                                         |                     |               |                |
| 29                                                                                                                                                                                                         | Оптимальное флегмовое число                                                                             | —                   | $R_{tt}$      | 0,978          |
| 30                                                                                                                                                                                                         | Число теоретических тарелок в укрепляющей части колонны                                                 | —                   | $y_n$         | 3,06           |
| 31                                                                                                                                                                                                         | Число теоретических тарелок в исчерпывающей части колонны                                               | —                   | $u_n$         | 3,98           |
| 32                                                                                                                                                                                                         | Функция минимизации объема колонны                                                                      | —                   | $u$           | 13,93          |
| 33                                                                                                                                                                                                         | Рабочая концентрация легколетучего компонента в паре, соответствующая его концентрации в исходной смеси | кмоль А/ кмоль(А+В) | $y_f$         | 0,656          |
| Расчет параметров, связанных с оптимальным флегмовым числом, определяемом через число теоретических тарелок по формуле (2)                                                                                 |                                                                                                         |                     |               |                |
| 34                                                                                                                                                                                                         | Оптимальное флегмовое число                                                                             | —                   | $R_{tt}$      | 0,960          |
| 35                                                                                                                                                                                                         | Число теоретических тарелок в укрепляющей части колонны                                                 | —                   | $y_n$         | 3,09           |
| 36                                                                                                                                                                                                         | Число теоретических тарелок в исчерпывающей части колонны                                               | —                   | $u_n$         | 4,02           |
| 37                                                                                                                                                                                                         | Функция минимизации объема колонны                                                                      | —                   | $u$           | 8,66           |
| 38                                                                                                                                                                                                         | Рабочая концентрация легколетучего компонента в паре, соответствующая его концентрации в исходной смеси | кмоль А/ кмоль(А+В) | $y_f$         | 0,656          |
| 39                                                                                                                                                                                                         | Средняя концентрация легколетучего компонента в паре в укрепляющей части колонны                        | кмоль А/ кмоль(А+В) | $y_{cy}$      | 0,777          |
| 40                                                                                                                                                                                                         | Средняя концентрация легколетучего компонента в паре в исчерпывающей части колонны                      | кмоль А/ кмоль(А+В) | $y_{cu}$      | 0,331          |
| 41                                                                                                                                                                                                         | Диаметр укрепляющей части колонны                                                                       | м                   | $D_{by}$      | 1,82           |
| 42                                                                                                                                                                                                         | Диаметр исчерпывающей части колонны                                                                     | м                   | $D_{bu}$      | 1,98           |
| Расчет параметров, связанных с оптимальным флегмовым числом, определенном через число единиц переноса по формуле (9) для тарельчатых и насадочных колонн                                                   |                                                                                                         |                     |               |                |
| 43                                                                                                                                                                                                         | Оптимальное флегмовое число                                                                             | —                   | $R_n$         | 1,075          |
| 44                                                                                                                                                                                                         | Число единиц переноса в укрепляющей части колонны                                                       | —                   | $S_y$         | 3              |
| 45                                                                                                                                                                                                         | Число единиц переноса в исчерпывающей части колонны                                                     | —                   | $S_x$         | 3,63           |
| 46                                                                                                                                                                                                         | Диаметр укрепляющей части колонны                                                                       | м                   | $D_{my}$      | 2,21           |
| 47                                                                                                                                                                                                         | Диаметр исчерпывающей части колонны                                                                     | м                   | $D_{mu}$      | 2,39           |
| 48                                                                                                                                                                                                         | Функция минимизации объема колонны                                                                      | —                   | $U_{en}$      | 0,59           |
| 49                                                                                                                                                                                                         | Рабочая концентрация легколетучего компонента в паре, соответствующая его концентрации в исходной смеси | кмоль А/ кмоль(А+В) | $y_f$         | 0,644          |
| Расчет параметров, связанных с оптимальным флегмовым числом, определяемом через число теоретических тарелок и высоту насадки, эквивалентную одной теоретической тарелке для насадочных колонн формула (10) |                                                                                                         |                     |               |                |
| 50                                                                                                                                                                                                         | Оптимальное флегмовое число                                                                             | —                   | $R_{th}$      | 0,971          |
| 51                                                                                                                                                                                                         | Число теоретических тарелок в укрепляющей части колонны                                                 | —                   | $y_n$         | 3,07           |
| 52                                                                                                                                                                                                         | Число теоретических тарелок в исчерпывающей части колонны                                               | —                   | $u_n$         | 4              |
| 53                                                                                                                                                                                                         | Высота насадки, эквивалентная одной теоретической тарелке в укрепляющей части колонны                   | м                   | $h_{ey}$      | 1,12           |
| 54                                                                                                                                                                                                         | Высота насадки, эквивалентная одной теоретической тарелке в исчерпывающей части колонны                 | м                   | $h_{eu}$      | 0,696          |

Окончание табл. 2

| №                                                                                                                                                                                 | Наименование параметра                                                                                  | Размерность                       | Обозначение  | Величина             |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| 1                                                                                                                                                                                 | 2                                                                                                       | 3                                 | 4            | 5                    |                      |
| 55                                                                                                                                                                                | Высота насадки, в укрепляющей части колонны                                                             | м                                 | $H_y$        | 3,44                 |                      |
| 56                                                                                                                                                                                | Высота насадки, в исчерпывающей части колонны                                                           | м                                 | $H_u$        | 2,78                 |                      |
| 57                                                                                                                                                                                | Диаметр укрепляющей части колонны                                                                       | м                                 | $D_{кy}$     | 1,47                 |                      |
| 58                                                                                                                                                                                | Диаметр исчерпывающей части колонны                                                                     | м                                 | $D_{кu}$     | 1,96                 |                      |
| 59                                                                                                                                                                                | Объем насадки, в укрепляющей части колонны                                                              | м <sup>3</sup>                    | $V_{кy}$     | 5,83                 |                      |
| 60                                                                                                                                                                                | Объем насадки, в исчерпывающей части колонны                                                            | м <sup>3</sup>                    | $V_{кu}$     | 8,42                 |                      |
| 61                                                                                                                                                                                | Общий объем колонны – это сама функция минимизации объема колонны                                       | м <sup>3</sup>                    | $V_k$        | 14,25                |                      |
| 62                                                                                                                                                                                | Рабочая концентрация легколетучего компонента в паре, соответствующая его концентрации в исходной смеси | кмоль А/<br>кмоль(А+В)            | $y_f$        | 0,655                |                      |
| Расчет параметров, связанных с оптимальным флегмовым числом, определяемом по формуле (11) через число единиц переноса с учетом коэффициентов массопередачи для тарельчатых колонн |                                                                                                         |                                   |              |                      |                      |
| №                                                                                                                                                                                 | Наименование параметра                                                                                  | Размерность                       | Обозначение  | формула (11)         | формула (12)         |
| 1                                                                                                                                                                                 | 2                                                                                                       | 3                                 | 4            | 5                    | 6                    |
| 63                                                                                                                                                                                | Коэффициент диффузии в кипящем растворе для укрепляющей части колонны                                   | м <sup>2</sup> /с                 | $D_{exy}$    | $5,83 \cdot 10^{-9}$ | $5,88 \cdot 10^{-9}$ |
| 64                                                                                                                                                                                | Коэффициент диффузии в кипящем растворе для исчерпывающей части колонны                                 | м <sup>2</sup> /с                 | $D_{exu}$    | $8,28 \cdot 10^{-9}$ | $8,28 \cdot 10^{-9}$ |
| 65                                                                                                                                                                                | Коэффициент диффузии в паровой фазе для укрепляющей части колонны                                       | м <sup>2</sup> /с                 | $D_{yy}$     | $2,23 \cdot 10^{-5}$ | $2,23 \cdot 10^{-5}$ |
| 66                                                                                                                                                                                | Коэффициент диффузии в паровой фазе для исчерпывающей части колонны                                     | м <sup>2</sup> /с                 | $D_{yu}$     | $2,39 \cdot 10^{-5}$ | $2,39 \cdot 10^{-5}$ |
| 67                                                                                                                                                                                | Объемный коэффициент массоотдачи по паровой фазе в укрепляющей части колонны                            | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·с | $\beta_{yy}$ | 183,3                | 223,5                |
| 68                                                                                                                                                                                | Объемный коэффициент массоотдачи по паровой фазе в исчерпывающей части колонны                          | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·с | $\beta_{yu}$ | 188                  | 229,3                |
| 69                                                                                                                                                                                | Объемный коэффициент массоотдачи по кипящему раствору в укрепляющей части колонны                       | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·с | $\beta_{yx}$ | $4,47 \cdot 10^{-1}$ | 2,49                 |
| 70                                                                                                                                                                                | Объемный коэффициент массоотдачи по кипящему раствору в исчерпывающей части колонны                     | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·с | $\beta_{ux}$ | $5,77 \cdot 10^{-1}$ | 3,22                 |
| 71                                                                                                                                                                                | Объемный коэффициент массопередачи в укрепляющей части колонны                                          | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·с | $K_{yy}$     | 0,997                | 5,45                 |
| 72                                                                                                                                                                                | Объемный коэффициент массопередачи в исчерпывающей части колонны                                        | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·с | $K_{yu}$     | 0,343                | 1,9                  |
| 73                                                                                                                                                                                | Число единиц переноса в укрепляющей части колонны                                                       | —                                 | $ЧЕП_y$      | 3,11                 | 3,05                 |
| 74                                                                                                                                                                                | Число единиц переноса в исчерпывающей части колонны                                                     | —                                 | $ЧЕП_u$      | 3,71                 | 9,55                 |
| 75                                                                                                                                                                                | Объем с тарелками в укрепляющей части колонны                                                           | м <sup>3</sup>                    | $V_{кy}$     | 15,87                | 2,96                 |
| 76                                                                                                                                                                                | Объем с тарелками в исчерпывающей части колонны                                                         | м <sup>3</sup>                    | $V_{кu}$     | 74,92                | 13,5                 |
| 77                                                                                                                                                                                | Общий объем с тарелками укрепляющей части колонны                                                       | м <sup>3</sup>                    | $V_{ко}$     | 90,79                | 16,46                |
| 78                                                                                                                                                                                | Диаметр укрепляющей части колонны                                                                       | м                                 | $D_{ty}$     | 2,165                | 2,14                 |
| 79                                                                                                                                                                                | Диаметр исчерпывающей части колонны                                                                     | м                                 | $D_{tu}$     | 2,33                 | 2,31                 |
| 80                                                                                                                                                                                | Площадь сечения укрепляющей части колонны                                                               | м <sup>2</sup>                    | $S_y$        | 3,68                 | 3,61                 |
| 81                                                                                                                                                                                | Площадь сечения исчерпывающей части колонны                                                             | м <sup>2</sup>                    | $S_u$        | 4,29                 | 4,2                  |
| 82                                                                                                                                                                                | Число тарелок в укрепляющей части колонны                                                               | —                                 | $N_{ty}$     | 10,77                | 1,79                 |
| 83                                                                                                                                                                                | Число тарелок в исчерпывающей части колонны                                                             | —                                 | $N_{tu}$     | 43,65                | 7,81                 |
| 84                                                                                                                                                                                | Оптимальное флегмовое число                                                                             | —                                 | $R_v$        | 1,02                 | 1,369                |

Для удобства сравнения основные расчетные параметры, сверенные с оптимальным флегмовым числом, диаметрами и высотой каждой части колонны представлены в табл. 3.

Минимизация объема тарельчатой колонны с учетом коэффициентов массопередачи по паровой фазе через число единиц переноса для тарельчатых колонн можно рассчитать по модифицированному уравнению (8).

$$U_{об} = (R_n + 1) \left[ \frac{ЧЕП_y}{K_{yy} \cdot M_{cy}} + \frac{ЧЕП_u}{K_{yu} \cdot M_{cu}} \right], \quad (11)$$

$$V_{об} = \left( \frac{G_d(r+1)}{3600} \right) \cdot \left( \frac{ЧЕП_y}{K_{yy} \rho_{yy}} + \frac{ЧЕП_u}{K_{yu} \rho_{uu}} \right). \quad (12)$$

где  $K_v$  – объемный коэффициент массопередачи по паровой фазе,  $\frac{м^3}{м^3 \cdot с} \cdot \frac{кмоль \cdot A}{кмоль \cdot (A+B)}$

Это наиболее точный расчет, учитывающий изменение скоростей потоков пара и жидкости, от которых зависят коэффициенты массоотдачи и массопередачи, а не только чисел переноса или чисел теоретических тарелок, как это имеет место при расчете минимизации объема колонны по формулам (7), (9) и (10).

Таблица 3

Сравнение основных расчетных параметров

| №  | Наименование параметров                                                                                                    | Обозначение | Расчетные формулы |       |      |       |       |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|-------|------|-------|-------|------|
|    |                                                                                                                            |             | 9                 | 1     | 2    | 10    | 11    | 12   |
| 1  | Оптимальное флегмовое число                                                                                                | $R_o$       | 1,075             | 0,978 | 0,96 | 0,971 | 1,02  | 0,94 |
| 2  | Число теоретических тарелок в укрепляющей части                                                                            | $N_y$       | –                 | 3,06  | 3,09 | 3,07  | –     | 1,79 |
| 3  | Число теоретических тарелок в исчерпывающей части                                                                          | $N_u$       | –                 | 3,98  | 4,02 | 4     | –     | 7,81 |
| 4  | Диаметр укрепляющей части колонны                                                                                          | $D_y$       | 2,22              | 1,94  | 1,82 | 1,47  | 2,165 | 2,14 |
| 5  | Диаметр исчерпывающей части колонны                                                                                        | $D_u$       | 2,39              | 2,16  | 1,98 | 1,96  | 2,33  | 2,31 |
| 6  | Число единиц переноса в укрепляющей части колонны                                                                          | $ЧЕП_y$     | 3,0               | –     | –    | –     | 3,11  | 2,62 |
| 7  | Число единиц переноса в исчерпывающей части колонны                                                                        | $ЧЕП_u$     | 3,63              | –     | –    | –     | 3,71  | 3,31 |
| 8  | Коэффициент массопередачи в укрепляющей части колонны по паровой фазе (с учетом удерживающей способности по жидкой фазе)   | $K_{yy}$    | –                 | –     | –    | –     | 0,997 | 5,95 |
| 9  | Коэффициент массопередачи в исчерпывающей части колонны по паровой фазе (с учетом удерживающей способности по жидкой фазе) | $K_{yu}$    | –                 | –     | –    | –     | 0,343 | 2,01 |
| 10 | Общее число тарелок                                                                                                        | –           | –                 | 7,04  | 7,11 | 7,07  | –     | 9,8  |

Как видно из приведенных в табл. 2 расчетных данных, различных основных параметров ректификационной колонны для бинарной смеси «метанол-вода» разброс оптимального флегмового числа, соответствующего минимуму объема колонны, варьируется в пределах от  $R_o = 0,94 \div 1,075$ , причем нижнее значение соответствует наиболее точному расчету по формуле (12), учитывающей коэффициенты массоотдачи в каждой фазе и коэффициенты массопередачи в каждой части колонны. Типовой расчет приводит к значению  $R_o = 0,978$ , то есть немного на (3,9 %) превышает оптимальное флегмовое число, это вполне реальный запас по флегмовому числу. Наибольшее флегмовое число определяется по формуле (9)  $R_o = 1,075$ , то есть превышает его по сравнению с типовым расчетом почти на 10 %. Это тоже вполне приемле-

мый результат. Но особо стоит обратить внимание на сильное отличие числа теоретических тарелок, рассчитанное по формуле (12), в сравнении с типовым расчетом по формуле (1).

Число теоретических тарелок в укрепляющей части уменьшается с 3,06 до 1,79, то есть на 41,5 %, а в исчерпывающей части наоборот превышает с 3,98 до 7,81, то есть почти в 2 раза, хотя общее число тарелок увеличивается с 7,04 до 9,8, то есть на 40 %. Это объясняется тем, что при близких по величине значениях коэффициентов массоотдачи по жидкой и паровой фазам в обеих частях колонны коэффициент массопередачи в исчерпывающей части почти в 3 раза меньше коэффициента массопередачи в укрепляющей части (1,9 против 5,45). Последнее объясняется тем, что в формулы коэффициентов массопередачи входит тангенс на-

клона равновесной линии, а он в истощающей части в 3,8 раза больше, чем в укрепляющей части колонны ( $m_u=1,678$  против  $m_y=0,445$ ). Это приводит к значительному уменьшению коэффициента массопередачи в истощающей части по сравнению с искомым в укрепляющей части, и соответственно, значительному увеличению объема и числа теоретических тарелок в истощающей части колонны.

Таким образом, учет коэффициентов диффузии в паровой и жидкой фазах, а с ними и коэффициентов массоотдачи и массопередачи при расчете оптимального флегмового числа (формула 12) практически не влияет на его величину по сравнению с типовым расчетом по формуле (1), не учитывающей коэффициенты массоотдачи и массопередачи, но значительно влияет на расчет числа теоретических тарелок в обеих частях колонны, занижая их число в укрепляющей части и завышая в истощающей части колонны.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 2007. – 576 с.
2. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии: учеб. пособие. – Ч. 3 / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 1996. – 102 с.
3. Аппроксимация табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей степенным уравнением / А. Б. Голованчиков, А. А. Решетников, А. С. Остроухова, Е. Г. Фетисова // Известие ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 4). – С. 37–40.
4. Повышение точности при аппроксимации табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей / А. Б. Голованчиков, Е. В. Васильева, А. С. Остроухова, А. А. Решетников // Известие ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 12). – С. 9–11.
5. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969. – 624 с.
6. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии : учебник для вузов / В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1985. – 498 с.
7. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков и др.; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

УДК 66.048.3.069.833

#### **А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, М. В. Топилин** **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАСАДКИ** **С ПОВЫШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ТЕПЛОМАСООБМЕНА**

**Волгоградский государственный технический университет**  
E-mail: natasha292009@yandex.ru

Представлены результаты экспериментального исследования разработанной насадки, сравнение гидравлического сопротивления сухой и орошаемой насадки с существующими аналогами, оценка погрешностей опыта, проведение корреляционного и регрессионного анализов.

**Ключевые слова:** насадка, гидравлическое сопротивление, погрешность опыта, корреляционный анализ, теплообменные процессы.

#### **A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko, M. V. Topilin** **EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF A HEAVY-DUTY HEAT EXCHANGE SURFACE** **Volgograd State Technical University**

The results of an experimental study of the developed nozzle, a comparison of the hydraulic resistance of a dry and irrigated nozzle with existing analogues, an estimation of experimental errors, the conduct of correlation and regression analyzes are presented.

**Keywords:** nozzle, hydraulic resistance, experimental error, correlation analysis, heat-mass transfer processes.

Целью эксперимента является исследование гидравлических сопротивлений сухой и орошаемой насадки, определение удерживающей способности насадки, сравнение результатов эксперимента с насадками – аналогами.

Экспериментальная установка состоит из распределителя жидкости 1, ротаметра для воды 2, прозрачной колонной части 3, загружаемого картриджа со слоем насадки 4, дифференциального манометра 5, воздушодувки 6, ротаметра для воздуха 7, сливного патрубка 8 (рис. 1).

Выполнение верхней части колонны из стекла позволяет визуально следить за ходом эксперимента и наблюдать режимы работы колонны. Разборный верх колонны позволяет быстро менять исследуемые насадки, что позволяет провести большую серию опытов с насадками различного типа.

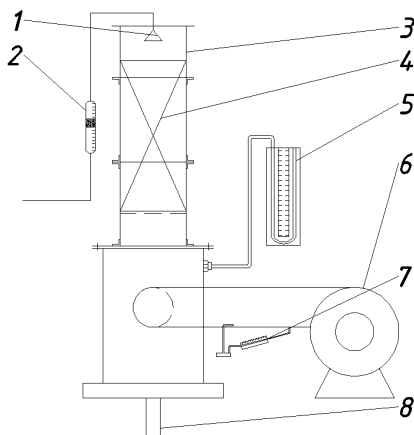


Рис. 1. Схема лабораторной установки:  
1 – распределитель жидкости; 2 – ротаметр для воды; 3 – корпус колонной части установки; 4 – картридж со слоем насадки; 5 – дифференциальный манометр; 6 – воздушная подушка; 7 – ротаметр для воздуха; 8 – слив в канализацию

Установка работает следующим образом.

Воздушная подушка 6 подает воздушный поток в колонну 3, в трубе подачи воздуха установлен ротаметр для воздуха 7, при помощи которого определяется расход воздуха и его скорость в трубе. Далее с помощью дифференциального манометра 5 определяется давление воздуха

внутри колонны. С помощью ротаметра 2 контролируется расход подачи орошения колонны. Воздух, проходя слой насадки, удаляется в атмосферу.

Объектом исследования является «насадка для тепло- и массообменных процессов» (рис. 2).

Этапы проведения экспериментального исследования:

1. Подключаются все входящие патрубки газа и жидкости, проверяется герметичность всех соединений, включается в сеть воздушная подушка.

2. Установить в колонну 3 картридж с исследуемой насадкой.

3. Включается подача воздуха посредством пуска воздушной подушки.

4. Регулировкой рукоятки автотрансформатора установить начальный расход воздуха, при котором показания дифференциального манометра 5 будут достаточны для выполнения замеров.

5. Задав интервалом снятия замеров, ступенчато увеличивать расход воздуха, снять показания дифференциального манометра 5 для каждого из установленных интервалов значений расходов воздуха.

6. Для снятия показаний гидравлического сопротивления орошаемой насадки, необходимо установить распределитель жидкости 1 по центру колонны, с помощью ротаметра для воды выставить выбранный расход.

7. По окончании эксперимента обесточить установку, перекрыть воду.

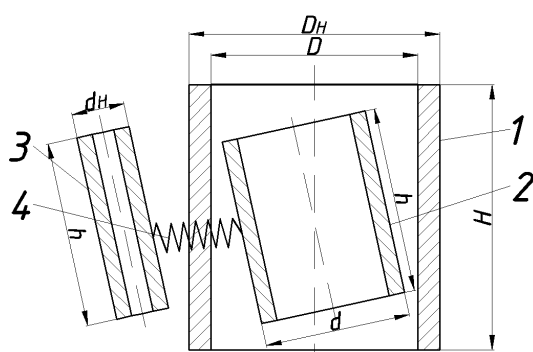
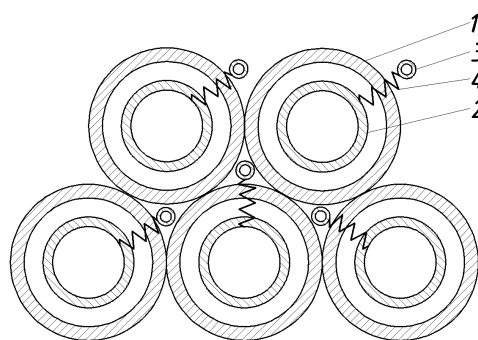


Рис. 2. Разработанная насадка для тепло- и массообменных процессов [1]:

1 – наружное кольцо Рашига; 2 – внутреннее кольцо Рашига;  
3 – дополнительное тело вращения; 4 – пружина



В ходе проведения серии экспериментальных опытов были получены значения гидравлического сопротивления сухих и орошаемых насадок, удерживающая способность насадок.

В качестве насадок сравнения были выбраны кольца Рашига и Палля. Данные опытов сведены в табл. 1–3.

Таблица 1

**Экспериментальные данные гидравлического сопротивления сухой насадки**

| Расход воздуха<br>$V$ , м <sup>3</sup> /с | Опыт  |       |       |      |       |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|
|                                           | 1     | 2     | 3     | 4    | 5     |
| 0,037                                     | 3,0   | 3,5   | 3,2   | 3,05 | 3,55  |
| 0,042                                     | 6,1   | 6,25  | 6,5   | 7,5  | 6,32  |
| 0,045                                     | 9     | 8,5   | 8,05  | 8,47 | 8,63  |
| 0,049                                     | 11,02 | 10,5  | 11,15 | 11,3 | 11,07 |
| 0,052                                     | 11,4  | 13,02 | 13,7  | 13,0 | 13,5  |
| 0,055                                     | 13,5  | 15,0  | 15,01 | 15,2 | 14,1  |
| 0,057                                     | 20,5  | 18,8  | 18,3  | 18,5 | 18,0  |

Таблица 4

**Результаты гидравлических сопротивлений сухих насадок**

| Расход воздуха $V$ , м <sup>3</sup> /с | Кольца Рашига | Кольца Палля | Разработанная насадка |
|----------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 0,037                                  | 6,17          | 5,9          | 3,26                  |
| 0,042                                  | 13,58         | 9,66         | 6,534                 |
| 0,045                                  | 24,5          | 14,5         | 8,53                  |
| 0,049                                  | 37,1          | 19,2         | 11,008                |
| 0,052                                  | 0             | 23,6         | 12,924                |
| 0,055                                  | 0             | 26           | 14,562                |
| 0,057                                  | 0             | 27           | 18,82                 |

Таблица 2

**Экспериментальные данные гидравлического сопротивления орошаемой насадки**

| Расход воздуха<br>$V$ , м <sup>3</sup> /с | Опыт |      |      |      |      |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0,037                                     | 19,5 | 18,8 | 17   | 16,5 | 18,1 |
| 0,039                                     | 25,4 | 30,5 | 26,4 | 29   | 23,2 |
| 0,042                                     | 40,2 | 41,6 | 43   | 41,1 | 42,3 |
| 0,043                                     | 44,6 | 47,6 | 45   | 43,1 | 46,2 |
| 0,045                                     | 50   | 51,2 | 55   | 54,6 | 57,1 |

Таблица 5

**Результаты гидравлических сопротивлений орошаемых насадок**

| Расход воздуха $V$ , м <sup>3</sup> /с | Кольца Рашига | Кольца Палля | Разработанная насадка |
|----------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 0,037                                  | 29,2          | 24,5         | 17,98                 |
| 0,039                                  | 36,04         | 32,78        | 26,9                  |
| 0,042                                  | 52,02         | 45,04        | 41,64                 |
| 0,043                                  | 65,6          | 52,4         | 45,3                  |
| 0,045                                  | 73,86         | 61,74        | 53,58                 |

Таблица 3

**Экспериментальные данные удерживающей способности насадки**

| Расход воздуха<br>$V$ , м <sup>3</sup> /с | Опыт |     |     |     |     |
|-------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|
|                                           | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 0,031                                     | 249  | 253 | 246 | 230 | 246 |
| 0,034                                     | 318  | 319 | 324 | 324 | 321 |
| 0,035                                     | 397  | 387 | 394 | 390 | 392 |
| 0,038                                     | 440  | 430 | 435 | 437 | 433 |
| 0,04                                      | 485  | 481 | 470 | 475 | 474 |

Таблица 6

**Результаты удерживающей способности насадок**

| Расход воздуха $V$ , м <sup>3</sup> /с | Кольца Рашига | Кольца Палля | Разработанная насадка |
|----------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 0,037                                  | 259,8         | 228          | 244,8                 |
| 0,039                                  | 356           | 254          | 321,2                 |
| 0,042                                  | 415           | 286,4        | 392                   |
| 0,043                                  | 455           | 303,2        | 435                   |
| 0,045                                  | 493,4         | 321          | 477                   |

Сопоставим гидравлические сопротивления насадок сравнения с разработанной насадкой в табл. 4–6 (гидравлические сопротивления в таблице приведены по средним значениям экспериментальных точек).

На основе полученных данных построим график зависимости гидравлического сопротивления и удерживающей способности от расхода воздуха в колонне (рис. 3–4).

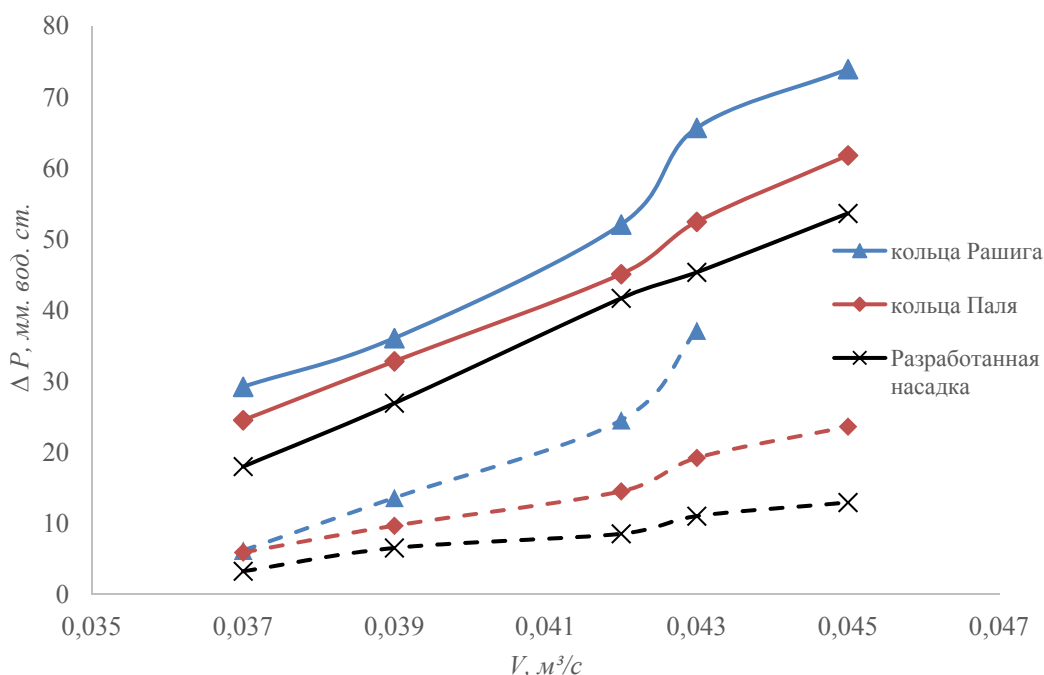


Рис. 3. График зависимости гидравлического сопротивления сухой (пунктирная линия) и орошаемой (сплошная линия) насадки от расхода воздуха

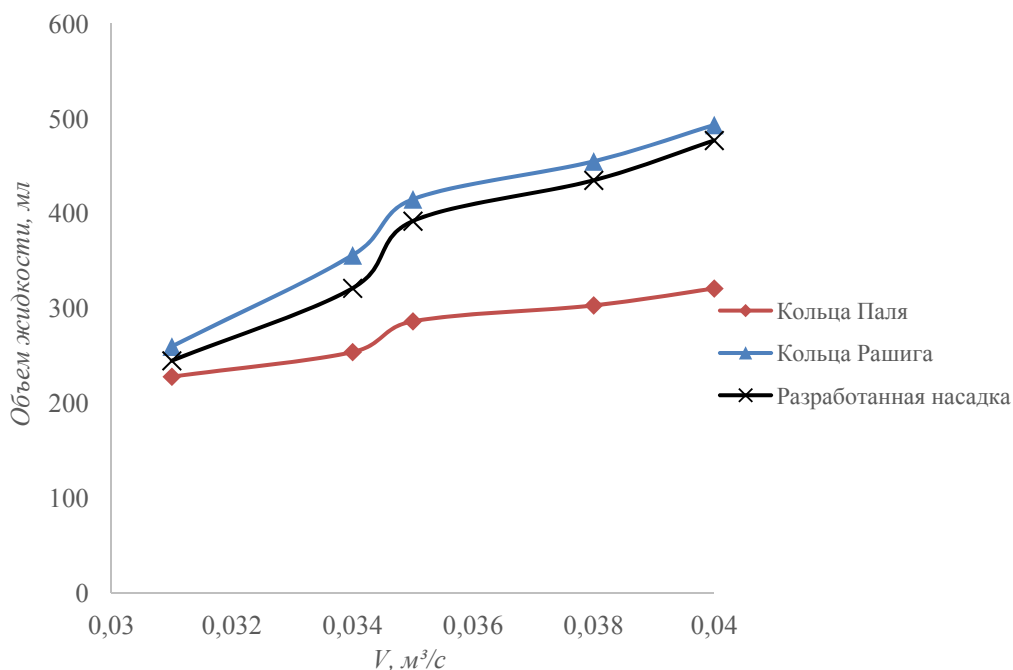


Рис. 4. График зависимости удерживающей способности насадки от расхода воздуха

Эксперименты должны быть проверены на воспроизводимость результатов, т. е. на их повторяемость в определенных пределах измерений с заданной доверительной достоверностью.

Суть такой проверки сводится к следующему.

1. Для каждой серии вычисляется среднеарифметическое значение  $x_i$ .

2. Далее вычисляют дисперсию  $S_i$ .

3. Чтобы оценить воспроизводимость, рассчитывают критерий Кохрена (расчетный):

$$S_i^2 = \frac{(y_{1i} - \bar{y}_i)^2 + (y_{2i} - \bar{y}_i)^2 + (y_{3i} - \bar{y}_i)^2}{f - 1}$$

$$G_p = \frac{S_{i\max}^2}{\sum S_i^2}$$

$$S_b^2 = \frac{\Delta_{\max}}{n(f-1)}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{\sum (S_i^2)}{12},$$

где  $s_b^2, \Delta_{\max}$  – ошибка опытов и дисперсная ошибка.

Опыты считаются воспроизводимыми при  $G_T > G_p$ , ( $G_T$  определяют исходя из числа параллельных опытов  $m$  и числа степеней свободы  $f$ ).

Проверка того, хорошо ли согласуется подобранная теоретическая линия регрессии с экспериментальными данными, называется проверкой адекватности уравнения регрессии.

Уравнение регрессии считается адекватным, если расхождение между эмпирической и теоретической линиями регрессии можно объяснить ошибками в определении условных средних, вызванных разбросом (дисперсией) случайных результатов эксперимента [2].

Для проверки адекватности условия используется критерий Фишера:

$$F_{\text{эмп}} = \frac{\sigma_{\text{ост}}^2}{\sigma_{\text{воспр.ср}}^2}$$

где  $\sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{n-l} \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$  – остаточная дисперсия;  $l$  – число коэффициентов в уравнении регрессии;  $\hat{y}_i$  – ордината линии регрессии в точке  $x_i$ ;  $\sigma_{\text{воспр.ср}}^2$  – дисперсия воспроизводимости средних, равная исправленной внутренней дисперсии, деленной на число экспериментов  $m$ , по которым вычислялись условные средние  $\bar{y}_i$ :

$$\sigma_{\text{воспр.ср}}^2 = \frac{1}{m} \cdot \frac{m}{m-1} \sigma_{\text{внутр}}^2 = \frac{1}{m-1} \sigma_{\text{внутр}}^2$$

Величина  $F_{\text{эмп}}$  имеет распределение Фишера с  $k_1 = n-l$  и  $k_2 = n(m-l)$  числами степеней свободы ( $n$  – число задаваемых экспериментатором значений величины  $X$ ,  $m$  – число проводимых опытов,  $l$  – число коэффициентов в уравнении регрессии).

По заданному уровню значимости  $\alpha = 0,05$  и числам степеней свободы  $k_1 = n-l$  и  $k_2 = n(m-l)$  из таблицы критических точек распределения Фишера находим  $F_{\text{крит}}$ .

Если  $F_{\text{эмп}} < F_{\text{крит}}$ , уравнение регрессии адекватно.

Если  $F_{\text{эмп}} > F_{\text{крит}}$ , расхождение между теоретической и эмпирической линиями регрессии значимо, уравнение неадекватно, следует взять многочлен более высокого порядка [3–4].

Таблица 7

Ошибка в каждой точке в линеаризованном виде

| Наименование             | № точки |        |         |         |         |        |        |
|--------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|
|                          | 1       | 2      | 3       | 4       | 5       | 6      | 7      |
| Сухая                    | 0,020   | 0,011  | 0,0024  | 0,001   | 0,0068  | 0,0032 | 0,0031 |
| Орошаемая                | 0,0048  | 0,012  | 0,00067 | 0,0014  | 0,0029  | –      | –      |
| Удерживающая способность | 0,00098 | 0,0011 | 0,00007 | 0,00006 | 0,00019 | –      | –      |

Таблица 8

Значения критериев Кохрена и Фишера, коэффициентов корреляции, МНК для экспериментальных данных

| Критерий Кохрена         |           | Критерий Фишера |           | Коэффициент корреляции | Коэффициенты МНК |       |
|--------------------------|-----------|-----------------|-----------|------------------------|------------------|-------|
| табличный                | расчетный | табличный       | расчетный |                        | А                | В     |
| Сухая насадка            |           |                 |           |                        |                  |       |
| 0,4307                   | 0,4275    | 2,56            | 1,13      | 0,998                  | 2,30             | 0,961 |
| Орошаемая насадка        |           |                 |           |                        |                  |       |
| 0,5440                   | 0,5439    | 2,71            | 2,52      | 0,993                  | 4,17             | 0,676 |
| Удерживающая способность |           |                 |           |                        |                  |       |
| 0,5440                   | 0,461     | 2,71            | 0,538     | 0,999                  | 5,91             | 0,379 |

Все расчетные значения критериев Кохрена меньше табличных, следовательно, дисперсия опытов однородна и воспроизводимость хорошая. Рассчитанные критерии Фишера также не превышают табличных значений, отсюда следует, что математическая модель адекватна для всех опытов. Коэффициент корреляции во всех трех экспериментах составил выше 0,99, зна-

чит, представленная зависимость  $y = f(x)$  является прямой и высокой. Получены уравнения зависимостей, которые имеют вид:

$$y = 2,30 \cdot x^{0,961} \text{ для сухой насадки;}$$

$$y = 4,17 \cdot x^{0,676} \text{ для орошаемой насадки;}$$

$$y = 5,91 \cdot x^{0,379} \text{ для удерживающей способности насадки}$$

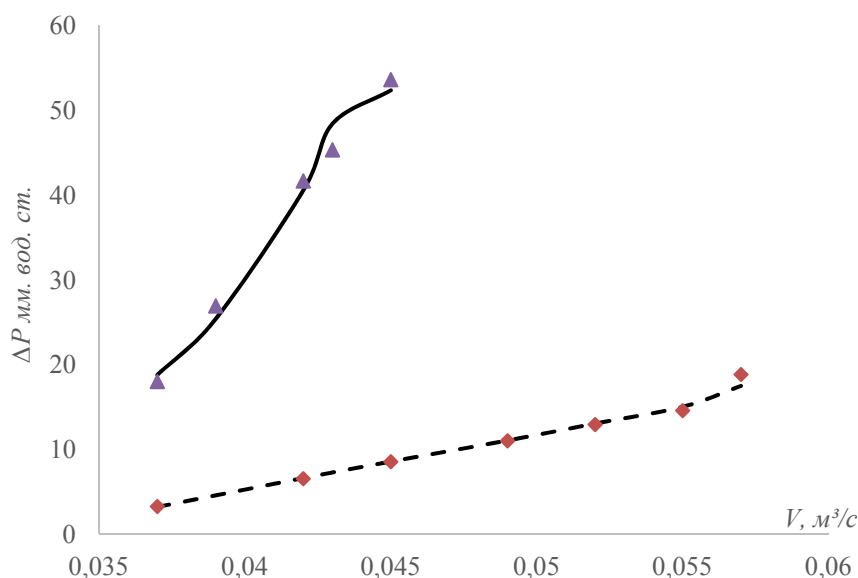


Рис. 5. График отклонения экспериментальных данных от теоретических гидравлического сопротивления сухой (пунктирная линия) и орошаемой (сплошная линия) исследуемой насадки

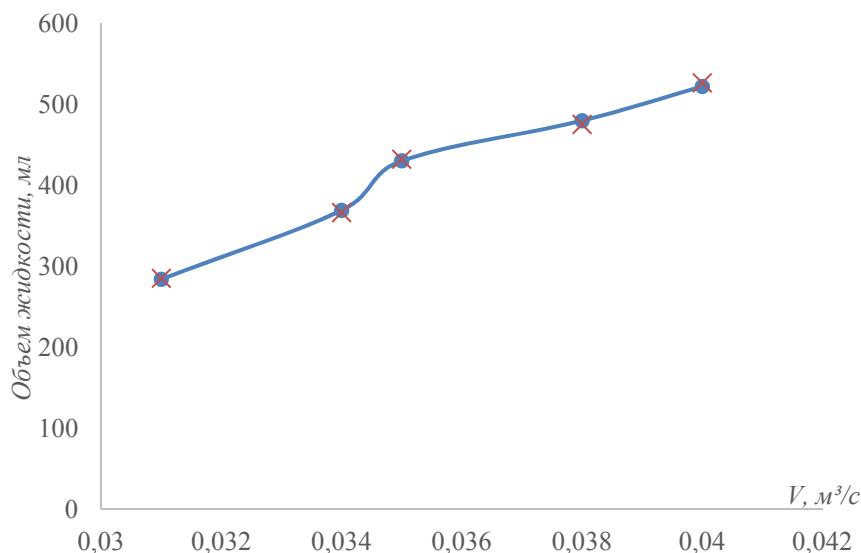


Рис. 6. График отклонения экспериментальных данных от теоретических удерживающей способности исследуемой насадки

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П. м. 174152 Российская Федерация, МПК В01J19/30 Насадка для тепло- и массообменных процессов / А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, К. В. Черикова, С. В. Сумбулян, А. А. Тарасов, М. А. Насонова; ВолгГТУ. – 2017.

2. Фрэнкс, Р. Математическое моделирование в химической технологии / пер. с англ. Д. К. Бейлиной и Э. Ф. Ишмаевой; под ред. В. С. Тропцова. – М.: Химия, 1971. – 270 с.

3. Холланд, Ч. Д. Многокомпонентная ректификация / пер. с англ. Б. Ц. Генкиной; под ред. В. М. Платонова. – М.: Химия, 1969. – 352 с.

4. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов : учеб. пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.

5. Закгейм, А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов / А. Ю. Закгейм / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия (серия «Химическая кибернетика»), 1982. – 288 с.

УДК 66 074:51:66.048.5

*А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, А. А. Коберник*

### **РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА АБСОРБЕНТА С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА АМОРТИЗАЦИЮ И ОБОРОТНЫЕ СРЕДСТВА**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Предлагается алгоритм расчета оптимального расхода абсорбента, учитывающего расходы на амортизацию, связанные с капитальными затратами. и оборотные средства, связанные с подачей абсорбента. Проводится сравнение таких расчетов через число и высоту единицы переноса насадки и через число и высоту эквивалентную теоретической тарелке. Показано влияние давления в колонне на оптимальный расход абсорбента.

*Ключевые слова:* минимальный и оптимальный расходы абсорбента, функция минимизации затрат, объем колонны, число единиц переноса.

*A. B. Golovanchikov, O. A. Zalipaeva, A. A. Kobernik*

### **CALCULATION OF THE OPTIMUM COSTS OF ABSORBENT WITH COSTS OF COSTS ON AMORTIZATION AND CIRCULATING FUNDS**

**Volgograd State Technical University**

An algorithm is proposed for calculating the optimal absorbent consumption, which takes into account the costs of depreciation associated with capital expenditures. and circulating assets associated with the supply of absorbent. Comparison of such calculations is made through the number and height of the transfer unit of the packing and through the number and height equivalent to the theoretical plate. The influence of the pressure in the column on the optimal absorbent flow is shown.

*Keywords:* minimum and optimal absorbent costs, cost minimization function, column volume, number of transfer units.

Известный типовой метод расчета рабочего расхода абсорбента основан на расчете минимального расхода абсорбента и его увеличении на 10÷50 % [1–3]. Аналогично с определением оптимального флегмового числа, минимизирующего объем колонны, а значит, амортизационные отчисления, связанные с капитальными затратами, проводить расчет оптимального расхода абсорбента невозможно, так как он не учитывает большие затраты, связанные с расходом электроэнергии на перекачивание абсорбента при его подаче в верхнюю часть колонны, а также затраты на его регенерацию. Необходимо также учитывать влияние давления. С одной стороны рост давления уменьшает объемный расход газа и объем самой колонны, а с другой стороны значительно увеличивает затраты на компримирование газа и абсорбента. Эти изменения можно представить графиком, аналогичным определению оптимального числа

аппаратов в многокорпусной выпарной установке (рис. 1). Аналогично выглядит и график зависимости удельных затрат от расхода абсорбента (рис. 2).

*C, руб/ед.приб.*

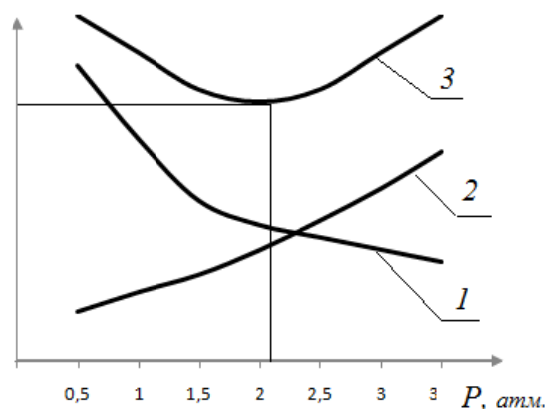


Рис. 1. Зависимость функции удельных затрат на абсорбцию от давления в колонне

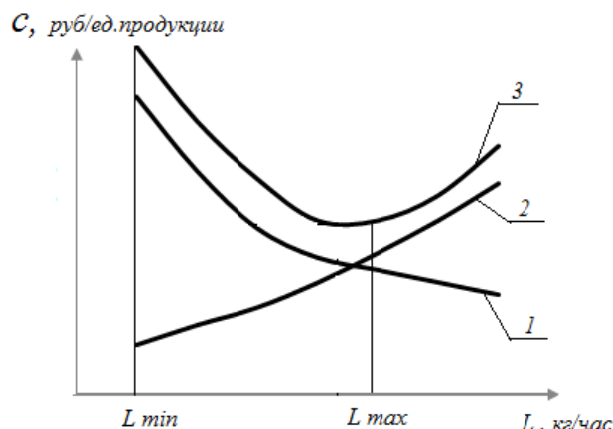


Рис. 2. Зависимость функции удельных затрат на абсорбцию от расхода абсорбента при постоянном давлении

Целью работы является определение оптимального расхода абсорбента, учитывающего как капитальные затраты, так и оборотные средства, определяющие себестоимость единицы продукции.

Предлагается формула для определения оптимального расхода абсорбента, учитывающая влияние роста расхода абсорбента на уменьшение объема колонны, а значит, амортизационных отчислений, а также оборотных средств,

связанных с подачей абсорбента и его регенерацией:

$$U = V_k + a (P/1,033)^{0,5} L \quad (1)$$

Первое слагаемое в правой части формулы (1) учитывает объем колонны и удельные расходы, связанные с амортизационными отчислениями, второе – такие же расходы, связанные с затратами на подачу и регенерацию абсорбента. Коэффициент  $a$  учитывает соотношение этих затрат  $a \approx 0,002$ , а выражение, стоящее в скобках – влияние избыточного давления. Показатель степени 0,5 показывает, что диаметр колонны растет с ростом давления как корень квадратный по отношению к диаметру при атмосферном давлении, а толщина стенки растет пропорционально давлению.

Результаты расчетов насадочной абсорбционной колонны для абсорбции из воздуха диоксида углерода водным раствором моноэтаноламина (0,5 молярный раствор [3]) приведены в табл. 1. Эти расчеты представлены по типовому алгоритму, когда рабочий расход абсорбента превышает его минимальный расход на 20 % в сравнении с расчетами по формуле (1), учитывающей как капитальные затраты, так и оборотные расходы.

Таблица 1

Исходные и справочные данные, и расчетные параметры процесса абсорбции углекислого газа из воздуха 0,5 нормальным водным раствором моноэтаноламина

| №                 | Наименование параметра                                              | Размерность                               | Обозначение |             | Величина |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-------------|----------|
|                   |                                                                     |                                           | в алгоритме | в программе |          |
| 1                 | 2                                                                   | 3                                         | 4           | 5           | 6        |
| Исходные данные   |                                                                     |                                           |             |             |          |
| 1                 | Начальная производительность по очищаемому воздуху                  | $\frac{\text{кг}}{\text{час}}$            | $G_n$       | $G_n$       | 5230     |
| 2                 | Начальная концентрация $\text{CO}_2$ в воздухе (абсолютная мольная) | $\frac{\text{кмоль}A}{\text{кмоль}(A+B)}$ | $y_n$       | $y_n$       | 0,1      |
| 3                 | Конечная концентрация $\text{CO}_2$ в воздухе (абсолютная мольная)  | $\frac{\text{кмоль}A}{\text{кмоль}(A+B)}$ | $y_k$       | $y_{k1}$    | 0,020    |
| 4                 | Начальная концентрация $\text{CO}_2$ в воде (абсолютная мольная)    | $\frac{\text{кмоль}A}{\text{кмоль}L}$     | $x_n$       | $x_{n1}$    | 0,010    |
| Справочные данные |                                                                     |                                           |             |             |          |
| 1                 | Молекулярная масса извлекаемого компонента А                        | $\frac{\text{кг}A}{\text{кмоль}A}$        | $M_a$       | $m_a$       | 44       |
| 2                 | Молекулярная масса газа в воздухе                                   | $\frac{\text{кг}G}{\text{кмоль}G}$        | $M_o$       | $m_o$       | 29       |
| 3                 | Молекулярная масса абсорбента                                       | $\frac{\text{кг}L}{\text{кмоль}L}$        | $M_l$       | $m_l$       | 18,8     |

Продолжение табл. 1

| №                                                                   | Наименование параметра                                                                                   | Размерность       | Обозначение     |              | Величина             |                     |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|----------------------|---------------------|
|                                                                     |                                                                                                          |                   | в алгоритме     | в программе  |                      |                     |
| 1                                                                   | 2                                                                                                        | 3                 | 4               | 5            | 6                    |                     |
| 4                                                                   | Удельная поверхность насадки                                                                             | $m^2/m^3$         | $\sigma$        | $Si$         | 190                  |                     |
| 5                                                                   | Порозность насадки                                                                                       | $m^3/m^3$         | $\varepsilon$   | $eI$         | 0,175                |                     |
| 6                                                                   | Плотность раствора при 50°                                                                               | $кг/м^3$          | $\rho_l$        | $rol$        | 1020                 |                     |
| 7                                                                   | Вязкость раствора при 50°                                                                                | $Па\cdot c$       | $\mu_l$         | $vil$        | 0,0019               |                     |
| 8                                                                   | Вязкость воздуха при 50°                                                                                 | $Па\cdot c$       | $\mu_\partial$  | $vi\partial$ | 0,0000189            |                     |
| 9                                                                   | Температура в колонне                                                                                    | $^{\circ}C$       | $t$             | $t$          | 50                   |                     |
| 10                                                                  | Рабочее давление                                                                                         | $атм.$            | $P$             | $P$          | 1,033                |                     |
| 11                                                                  | Коэффициент соотношения амортизационных отчислений и оборотных средств                                   | —                 | $a$             | $a$          | 0,002                |                     |
| 12                                                                  | Коэффициент диффузии компонента А в воздухе                                                              | $m^2/c$           | $D_\partial$    | $D\partial$  | $1,6\cdot 10^{-5}$   |                     |
| 13                                                                  | Коэффициент диффузии компонента А в абсорбенте                                                           | $m^2/c$           | $D_l$           | $DI$         | $1,7\cdot 10^{-7}$   |                     |
| Расчетные параметры                                                 |                                                                                                          |                   |                 |              |                      |                     |
| 1                                                                   | Относительная массовая концентрация компонента А в воздухе на входе в колонну                            | $\frac{кгA}{кгG}$ | $y_n$           | $yn$         | $16,86\cdot 10^{-2}$ |                     |
| 2                                                                   | Относительная массовая концентрация компонента А в воздухе на выходе из колонны                          | $\frac{кгA}{кгG}$ | $y_k$           | $yk$         | $3,096\cdot 10^{-2}$ |                     |
| 3                                                                   | Относительная массовая концентрация компонента А на входе в абсорбенте                                   | $\frac{кгA}{кгL}$ | $x_n$           | $xn$         | $2,364\cdot 10^{-2}$ |                     |
| 4                                                                   | Расход инертной части воздуха (без компонента А)                                                         | $\frac{кгG}{час}$ | $G$             | $g$          | 4492,6               |                     |
| 5                                                                   | Расход компонента А переходящего из воздуха в абсорбент                                                  | $\frac{кгA}{час}$ | $G_a$           | $G_a$        | 618,3                |                     |
| 6                                                                   | Производительность по очищаемому воздуху на выходе из колонны                                            | $\frac{кгG}{час}$ | $G_k$           | $g_k$        | 4631,7               |                     |
| 7                                                                   | Эквивалентный диаметр насадки                                                                            | $m$               | $D_\partial$    | $de$         | 1,505                |                     |
| Результаты расчета по типовому алгоритму с 20 % избытком абсорбента |                                                                                                          |                   |                 |              |                      |                     |
|                                                                     | Расчетные параметры при давлении                                                                         | Атм.              | $P$             | $P$          | 1,033                | 5                   |
| 1                                                                   | Константа равновесия                                                                                     | —                 | $\kappa$        | $\kappa$     | 1,98                 | 1,98                |
| 2                                                                   | Равновесная концентрация компонента А в абсорбенте, соответствующая его начальной концентрации в воздухе | $\frac{кгA}{кгL}$ | $x_k^*$         | $xkp$        | 0,125                | 0,125               |
| 3                                                                   | Минимальный расход абсорбента                                                                            | $\frac{кгL}{час}$ | $L_m$           | $lm$         | 6118                 | 841                 |
| 4                                                                   | Рабочий расход абсорбента на 20 % больший минимального (выбирается по типовому расчету)                  | $\frac{кгL}{час}$ | $L_{on}$        | $lop$        | 7341,7               | 1008,2              |
| 5                                                                   | Плотность воздуха                                                                                        | $кг/м^3$          | $\rho_\partial$ | $rod$        | 1,09                 | 530                 |
| 6                                                                   | Число Архимеда для воздуха                                                                               | —                 | $Ar_\partial$   | $Ar\partial$ | $1,09\cdot 10^8$     | $5,25\cdot 10^8$    |
| 7                                                                   | Конечная концентрация компонента А в абсорбенте                                                          | $\frac{кгA}{кгL}$ | $x_k$           | $xk$         | 0,108                | 0,636               |
| 8                                                                   | Число единиц переноса для воздуха                                                                        | —                 | $ЧЕП$           | $S$          | 21                   | 6,655               |
| 9                                                                   | Средняя движущая сила по воздуху                                                                         | $\frac{кгA}{кгG}$ | $\Delta y_c$    | $dys$        | $6,56\cdot 10^{-3}$  | $2,07\cdot 10^{-3}$ |

Окончание табл. 1

|                                                                                                                  |                                                                                          |                                                                               |               |               |                |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| 10                                                                                                               | Средняя концентрация компонента А в воздухе                                              | $\frac{\kappa_2 A}{\text{кг} G}$                                              | $y_c$         | $y_s$         | 0,0998         | 0,0998        |
| 11                                                                                                               | Средняя равновесная концентрация компонента А в воздухе                                  | $\frac{\kappa_2 A}{\text{кг} G}$                                              | $y_c^*$       | $y_{sp}$      | 0,0982         | 0,0791        |
| 12                                                                                                               | Средняя концентрация компонента А в абсорбенте                                           | $\frac{\kappa_2 A}{\text{кг} L}$                                              | $x_c$         | $x_s$         | 0,0706         | 0,383         |
| 13                                                                                                               | Число Рейнольдса для воздуха                                                             | -                                                                             | $Re_\partial$ | $Re\partial$  | 1388,4         | 7993,9        |
| 14                                                                                                               | Скорость воздуха (фиктивная)                                                             | м/с                                                                           | $v_\partial$  | $v\partial$   | 1,517          | 1,86          |
| 15                                                                                                               | Средний объемный расход воздуха в колонне                                                | м <sup>3</sup> /с                                                             | $q_v$         | $qv$          | 1,254          | 0,259         |
| 16                                                                                                               | Расчетный диаметр колонны                                                                | м                                                                             | $D_\kappa$    | $d\kappa$     | 1.01           | 0,422         |
| 17                                                                                                               | Высота насадки эквивалентная одной единице переноса                                      | м                                                                             | $BЭЕП$        | $h1$          | 0,407          | 1,14          |
| 18                                                                                                               | Высота насадки в колонне                                                                 | м                                                                             | $H$           | $h$           | 8,55           | 7,58          |
| 19                                                                                                               | Объем колонны                                                                            | м <sup>3</sup>                                                                | $V_\kappa$    | $V\kappa$     | 6,87           | 1,06          |
| 20                                                                                                               | Поверхность насадки                                                                      | м <sup>2</sup>                                                                | $F_n$         | $fн$          | 1305,1         | 201,2         |
| 21                                                                                                               | Коэффициент массопередачи для воздуха                                                    | $\frac{\kappa_2 A}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \frac{\kappa_2 A}{\text{кг} G}}$ | $\kappa_y$    | $\kappa_y$    | 0,02           | 0,0413        |
| 22                                                                                                               | Отношение расхода абсорбента к его минимальному расходу (коэффициент избытка абсорбента) | —                                                                             | $\kappa_{иа}$ | $\kappa_{ia}$ | 1,2            | 1,2           |
| Результаты расчетов оптимального расхода абсорбента, учитывающего затраты на размеры колонны и расход абсорбента |                                                                                          |                                                                               |               |               |                |               |
| 1                                                                                                                | Расход абсорбента                                                                        | кг/час                                                                        | $L$           | $L$           | 7845,9         | 996           |
| 2                                                                                                                | Число Рейнольдса по воздуху                                                              | —                                                                             | $Re_\partial$ | $Re\partial$  | 1350,2         | 8189,3        |
| 3                                                                                                                | Расчетная эффективная скорость воздуха                                                   | м/с                                                                           | $l_\partial$  | $l\partial$   | 1,517          | 1,566         |
| 4                                                                                                                | Расчетный диаметр колонны                                                                | м                                                                             | $D_\kappa$    | $d\kappa$     | 1.026          | 0,421         |
| 5                                                                                                                | Высота насадки эквивалентная одной единице переноса                                      | м                                                                             | $BЭЕП$        | $h1$          | 0,396          | 1,146         |
| 6                                                                                                                | Число единиц переноса                                                                    | —                                                                             | $ЧЕП$         | $S$           | 17,1           | 7,0           |
| 7                                                                                                                | Общая высота насадки                                                                     | м                                                                             | $H_\kappa$    | $h$           | 6,76           | 7,97          |
| 8                                                                                                                | Объем насадки в колонне                                                                  | м <sup>3</sup>                                                                | $V_\kappa$    | $V\kappa$     | 5,59           | 1,11          |
| 9                                                                                                                | Поверхность насадки                                                                      | м <sup>2</sup>                                                                | $f_n$         | $fн$          | 1061,9         | 210,5         |
| 10                                                                                                               | Средняя движущая сила по воздуху                                                         | $\frac{\kappa_2 A}{\text{кг} G}$                                              | $\Delta y_c$  | $dys$         | 0,0081         | 0,0198        |
| 11                                                                                                               | Коэффициент массопередачи воздуха                                                        | $\frac{\kappa_2 A}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \frac{\kappa_2 A}{\text{кг} G}}$ | $\kappa_y$    | $\kappa_y$    | 0,0201         | 0,0413        |
| 12                                                                                                               | Функция минимизации затрат (капитальных и оборотных)                                     | —                                                                             | $U$           | $U$           | 21,28<br>1,282 | 5,49<br>1,182 |
| 13                                                                                                               | Коэффициент избытка абсорбента                                                           | —                                                                             | $\kappa_{иа}$ | $\kappa_{ia}$ | 1,282          | 1,182         |

Как видно из этой таблицы, уже при давлении  $P = 2$  атм. Избыточный расход абсорбента по сравнению с типовым алгоритмом снижается с 1,282 до 1,138, то есть на 13 %. Этот избыток сохраняется для  $P = 3$  атм., а затем монотонно возрастает практически до типового значения 1,2, соответствующего типовому алгоритму.

С ростом давления объем колонны, ее диаметр, расход абсорбента и сама функция минимизации затрат  $U$  (1) монотонно уменьшается, а вот высота насадки в колонне, как и коэффициент избытка абсорбента, сначала уменьшается, а затем при давлении  $P > 2$  монотонно растет. Нужно отметить и монотонное возрастание коэффициента массопередачи с ростом давления.

Таблица 2

**Зависимость основных расчетных параметров насадочной абсорбционной колонны  
от давления с учетом функции минимизации затрат**

| № | Наименование параметра                                     | Обозначение | Давление, атм |        |        |        |        |
|---|------------------------------------------------------------|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|   |                                                            |             | 1,003         | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 1 | Коэффициент избытка абсорбента                             | $K_{ia}$    | 1,282         | 1,138  | 1,138  | 1,161  | 1,184  |
| 2 | Расход абсорбента, кг/час                                  | $L_k$       | 7845,9        | 3053,2 | 1854,7 | 1313,5 | 996    |
| 3 | Объем колонны, м <sup>3</sup>                              | $V_k$       | 5,59          | 1,96   | 1,5    | 1,24   | 1,11   |
| 4 | Высота насадки, м                                          | $H_k$       | 6,76          | 5,19   | 6,2    | 7,01   | 7,97   |
| 5 | Диаметр колонны, м                                         | $D_k$       | 1,026         | 0,694  | 0,556  | 0,476  | 0,421  |
| 6 | Коэффициент массопередачи, кгА/с·м <sup>2</sup> (кгА /кгG) | $K_y$       | 0,0201        | 0,0272 | 0,0327 | 0,0373 | 0,0413 |
| 7 | Функция минимизации затрат                                 | $Z$         | 21,28         | 10,46  | 7,82   | 6,41   | 5,49   |

Таким образом, типовой алгоритм расчета, предполагающий увеличение расхода абсорбента по сравнению с его минимальным расходом на 10–50 % целесообразно заменить на его точный расчет по формуле (1), характеризующей минимизацию суммарных затрат как на амортизационные отчисления, так и на оборотные средства. Возможное уточнение формулы (1) связано с величиной коэффициента  $a$ , характеризующего относительное влияние стоимости оборотных средств на амортизационные отчисления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для студ. хим.-технолог. спец. вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков; под. ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.
2. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие. / Ю. И. Дытнерский [и др.]. – М.: Альянс, 2008. – 750 с.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин. Т. 1. – Калуга: Издательство Н. Боцкаревой, 2003. – 917 с.
4. Перри, Дж. Г. Справочник инженера-химика / Дж. Г. Перри; под. общ. ред. Н. М. Жаворонкова. Т. 1. – Л.: Химия, 1969. – 640 с.

УДК 636.085.522.55

**М. М. Русакова, Г. Г. Русакова, Е. Д. Парахневич, Д. В. Парахневич  
Л. В. Мазина, Е. В. Губицкая, А. Ф. Цыбенко**

### ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕРАБОТКИ СЕМЯН САРЕПТСКОЙ ГОРЧИЦЫ

**Волгоградский технический университет**

E-mail: pebg@vstu.ru

Переработка семян сарептской горчицы предусматривает выполнение целого комплекса научно-обоснованных технологических стадий, направленных на получение максимального выхода качественной продукции при наименьших затратах.

*Ключевые слова:* сарептская горчица, переработка, технологические стадии.

**M. M. Rusakova, G. G. Rusakova, E. D. Parakhnevich,  
D. V. Parakhnevich, L. V. Mazina, E. V. Gubitskaya, A. F. Tsybenko**

### LOGISTICS CHAIN OF MANUFACTURED SEEDS

**Volgograd State Technical University**

Processing of seeds of the Sarept mustard provides for the implementation of a whole complex of scientifically grounded technological stages aimed at obtaining the maximum yield of quality products at the lowest cost.

*Keywords:* sarept mustard, processing, technological stages.

#### Введение

Сарептская горчица относится к пряно-масличным культурам [16].

В Волгоградском регионе горчица является традиционной масличной культурой. Как масличную культуру семена горчицы перерабатывают

прессовым методом на пищевое растительное масло и пищевой горчичный порошок [21].

За счет присутствия эфирного масла, сарептская горчица и продукты ее переработки известны в пищевой промышленности в качестве готовой формы горчицы, вкусо-ароматической добавки, как эмульгатор в соусах и майонезах и как консервант при консервировании овощей [11].

В лечебной практике большое значение имеет наличие эфирного горчичного масла в семенах сарептской горчицы, в том числе в горчичниках, лечебных горчичных ваннах, в различных растительных сборах.

Продукты переработки семян горчицы имеют высокую питательную и энергетическую ценность, что указывает на возможность использования их в рационах сельскохозяйственных животных и птицы. Обусловлено это содержанием в их составе значительного количества питательных веществ: жира, протеина, БЭВ. [9–15, 17, 20, 35].

Эфирное горчичное масло представляет собой ценный продукт для предприятий пищевой и фармацевтической промышленности, однако его наличие в горчичном жмыхе пагубно влияет на здоровье при скормливании сельскохозяйственным животным и птице [34, 37].

#### **Цель исследования**

Построить логистическую цепь переработки семян сарептской горчицы, предусматривающую выполнение комплекса научно-обоснованных технологических стадий, направленных на получение максимального выхода качественной продукции при наименьших затратах.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалами и методами исследования при выполнении данной работы являлось изучение многочисленных источников информации по составу семян сарептской горчицы, методам их переработки, свойствам получаемой продукции.

Химический состав семян горчицы зависит от многих факторов: сорта семян, степени зрелости, географической зоны произрастания, климатических условий, состава почвы, используемых удобрений и других экологических факторов.

Переработка семян горчицы состоит из следующих основных операций: очистки, сушки и сортировки семян, обрушивания и отвеивания шелухи, измельчения крупы, жарения крупы и ее прессования.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Семена горчицы являются сложной многокомпонентной смесью разного класса химических соединений.

В своем составе они содержат свободные жирные кислоты, триглицериды, белки, углеводы, фосфолипиды, альдегиды, кетоны, ферменты, витамины, тиогликозиды, эфирные масла и целый ряд других не идентифицированных соединений [5, 6, 18].

Анализ многочисленных проб семян горчицы показывает, что они содержат 88...93 % ядра и 7...12 % оболочки (шелухи) [6, 7, 18, 25, 31].

Переработка семян горчицы состоит из следующих основных операций: очистки, сушки и сортировки семян, обрушивания и отвеивания шелухи, измельчения крупы, жарения крупы и ее прессования

В таблице приведена последовательность важнейших технологических стадий переработки семян сарептской горчицы.

Современная технология получения растительного масла включает разнохарактерные воздействия на перерабатываемое масличное сырье. Значительное место в технологии занимают механические процессы, такие, как очистка семян от примесей, разрушение и отделение семенных оболочек от зародыша и эндосперма от ядра, измельчение ядра и промежуточных продуктов его переработки, являются преимущественно механическими, подготовляющими материал к интенсивным физико-химическим превращениям.

Очень важное место в технологии занимают диффузионные и диффузионно-тепловые процессы – кондиционирование семян по влажности, влаготепловая обработка мятки (жарение мезги), а также гидромеханические процессы: прессование мезги на шнековых прессах, отстаивание и фильтрация масла.

Современный технологический процесс переработки семян горчицы состоит из следующих основных операций: очистка, сушка и сортировка семян; подготовка к хранению и хранение семян; подготовка семян к извлечению масла: обрушивание и отвеивание шелухи, измельчение крупы, жарение крупы и ее прессование; первичная и комплексная очистка масла и обработки жмыха.

## Последовательность важнейших технологических стадий переработки семян

| Семена горчицы в производство                                |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Промежуточное хранение семян горчицы в крупоеечном отделении |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| ↓ Семена                                                     |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Взвешивание                                                  |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| ↓ Семена                                                     |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Надкалывание (вальцевание) семян                             |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| ↓Рушанка                                                     |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Отвеивание шелухи                                            |                                                        | —► Шелуха на реализацию         |                                       |                                                                  |                                                |
| ↓ Крупа                                                      |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Измельчение ядра крупы                                       |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| ↓Мятка                                                       |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Подготовка мятки (жарение)                                   |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| ↓Мезга                                                       |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Прессование                                                  |                                                        |                                 |                                       |                                                                  |                                                |
| Масло на переработку                                         |                                                        | Жмых на переработку             |                                       |                                                                  |                                                |
| Отстаивание                                                  |                                                        | Получение порошка               |                                       | Получение кормовой добавки                                       |                                                |
| Фильтрация                                                   |                                                        |                                 |                                       | Гидролиз синигрина в жмыхе и высевках                            |                                                |
| Пищевое горчичное масло на реализацию                        | Баковые отстои и фильтр-прессовый осадок на реализацию | Порошок горчичный на реализацию | Высевки на получение кормовой добавки | Переработка гидролизата                                          |                                                |
|                                                              |                                                        |                                 |                                       | Отпарка эфирного масла из гидролизата с последующей конденсацией | Сушка гидролизата после отпарки эфирного масла |
|                                                              |                                                        |                                 |                                       | Эфирное масло на реализацию                                      | Кормовой продукт на реализацию                 |

Собственно операции извлечения масла из ядра семян непосредственно предшествует операция влаготепловой обработки измельченного ядра (или семян, если операции обрушивания и отделения оболочки от ядра не производятся). После влаготепловой обработки масло из подготовленного материала извлекают прессованием.

Процесс прессования может производиться на трех температурных режимах в зависимости от ассортимента выпускаемой продукции [21, 23, 30]:

1. Медицинский. С получением порошка для медицинских горчичников. Основная задача при этом – максимальное сохранение фермента мирозиназы в горчичном жмыхе за счет низкой (не более 60 °С) температуры мятки в жаровне. Эфирность жмыха не менее 1,2 %. Вкус жмыха острый, с ярко выраженным привкусом эфирного горчичного масла. Для получения лечебного эффекта горчичников их смачивают в теп-

лой воде (не более 40 °С), при этом происходит гидролиз синигрина с выделением эфирного горчичного масла, которое оказывает местный согревающий эффект на кожу больного.

2. Пищевой. С получением порошка для переработки в пищевые продукты, в т. ч. соусы, майонезы, столовую горчицу и т. д. Температура мятки в жаровнях – не более 80 °С. Эфирность жмыха – не менее 1 %, что указывает на частичную инактивацию мирозиназы. Вкус жмыха горьковатый, но с преобладанием привкуса эфирного горчичного масла.

3. Кормовой. Основная задача работы предприятия на данном режиме – максимальное извлечение масла, в первую очередь из некондиционных семян. Температура мятки – 110 ÷ 120 °С. Фермент мирозиназа на данном режиме инактивируется практически полностью. Эфирность жмыха – 0,1 ÷ 0,3 %. Вкус жмыха горький, с преобладанием вкуса синигрина, с очень медленным появлением жжения слизистой оболочки

рта за счет гидролиза синигрина остатком мирозиназы. В зависимости от режима переработки семян горчицы качественные показатели жмыха могут меняться. Независимо от режима переработки семян горчицы, нагрев мятки проводят только глухим паром, так как при попадании физической влаги в жаровню происходит переход эфирного горчичного масла в жирное масло и атмосферный воздух, что недопустимо требованиями технологического регламента [21].

При переработке маслосемян образуются побочные продукты [22, 23, 26, 30, 31]: оболочка (шелуха), которую снимают с семян перед их переработкой; жмых, образующийся после отжима масла из ядра; фильтрпресовый осадок после фильтрации масла; баковые отстои в хранилищах масла. Ранее основным назначением горчичного жмыха было использование его для переработки в порошок, применяемый для пищевых и фармацевтических целей. В этом случае после помола жмыха и рассева его по фракциям образуется побочный продукт – высевки, которые состоят из волокон шелухи и фракций жмыха.

Объем высевок при работе на медицинском режиме составляет до 20 %, на пищевом до 16 % от массы перерабатываемых семян. Высевки близки по своему химическому составу к горчичному порошку и жмыху [13, 27–29]. Белок горчичного порошка состоит на 96...98 % из растворимых фракций.

В горчичном порошке содержатся те же аминокислоты, что и в жмыхе.

Горчичное масло, остающееся в составе побочных продуктов горчично-маслобойного производства, по своим показателям соответствует товарному пищевому горчичному маслу [1, 23]. После отжима масла из семян горчицы, его подвергают физической рафинации (отстою и фильтрации). В результате физической рафинации товарного горчичного масла образуются баковые отстои и фильтрпресовый осадок. В своем составе они содержат до 50 % масла и столько же мелкодисперсного горчичного жмыха (порошка). В осадке содержится до 3,0 % лецитина и до 0,5 % эфирного горчичного масла. В связи с тем что фильтрпресовый осадок состоит из жмыха и масла, в его составе, соответственно, находятся все ингредиенты, присущие горчичному жмыху (порошку) и горчичному маслу. Биологическая ценность продуктов пе-

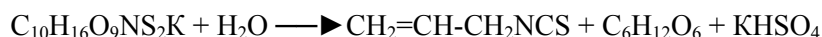
реработки семян горчицы подтверждена их аминокислотным [19], витаминным и углеводным составом [6, 18]. В продуктах, образующихся при переработке семян горчицы, присутствуют все формы сахаров, содержащиеся как в оболочке, так и ядре. В оболочке семян локализованы ди- и полисахариды [18]. Продукты переработки семян горчицы, помимо незаменимых (не синтезируемых в живом организме) аминокислот, содержат водо- и жирорастворимые витамины.

Горчичное масло содержит значительное количество биологически активных веществ, в том числе до 60 мг % токоферолов, до 1,2 % стеролов, до 0,8 % фосфатидов, которые участвуют в жизненно важных обменных процессах. Фракционный состав токоферолов, стеролов и фосфатидов приведен в работах [6, 18].

В горчичном масле содержатся все жирорастворимые витамины. Витамин Д в нем в 1,5 раза больше, чем в подсолнечном. Горчичное масло богато холином, который предупреждает жировую инфильтрацию печени, способствует синтезу фосфатидов и расщеплению жиров печени, связан с нервно-мышечной и клеточной структурой [24], оно содержит витамин К, который повышает прочность и эластичность капилляров, улучшает их проницаемость. Биологический состав семян горчицы и продуктов их переработки, показывает, что они содержат значительное количество биологически активных соединений: витаминов, токоферолов, стероидов, фосфатидов, микро- и макроэлементов, минеральных солей [5, 6, 18].

Несмотря на высокую протеиновую питательность и другие качественные показатели (действие, подобное антибиотикам; рост стимулирующее свойство), использование горчичного жмыха в кормлении сельскохозяйственных животных сдерживалось из-за наличия в них антипитательных для животных и птицы веществ (синигрина и эфирного горчичного масла) и отсутствия надежного промышленного способа очистки. Эфирное горчичное масло входит в состав сложного химического соединения водорастворимого синигрина, который гидролизует под действием фермента тиогликозидазы (старое название – мирозиназа) с образованием эфирного горчичного масла, глюкозы и кислого сернокислого калия (бисульфат калия) [2, 8, 36]:

фермент



Фермент мирозиназа является неотъемлемой частью химического состава семян горчицы, горчичного жмыха и других продуктов переработки.

Ферментативная реакция происходит при нарушении целостности растительной ткани, так как гликозиды и тиогликозидаза в живом растении пространственно разобщены. Действие токсических веществ не обезвреженных побочных продуктов горчично-маслобойного производства (жмыха, высевок, порошка), пагубно влияет на организм животных вплоть до летального исхода [3, 4].

Обезвреживание побочных продуктов горчично-маслобойного производства (жмыха, высевок, порошка) состоит из технологических стадий: гидролиза синигрина, отпарки и конденсации эфирного горчичного масла, сушки кормовой добавки.

В результате очистки продуктов переработки от антипатательных соединений получают кормовую добавку [31], применяемую в кормопроизводстве и эфирное горчичное масло с широким спектром действия [33].

Товарными продуктами при переработке семян горчицы являются: шелуха (оболочка); пищевое горчичное масло; горчичный порошок; кормовая добавка; эфирное горчичное масло, фильтрпрессовый осадок и баковые отстои.

### Выводы

Переработка семян сарептской горчицы является многостадийным технологическим процессом, требующим квалифицированной подготовки работающего персонала.

### Заключение

В работе приведена логистическая цепь переработки семян сарептской горчицы, использование которой следует использовать в подготовке работающего персонала. При подробном рассмотрении состава семян горчицы и продуктов их переработки применение логистической цепи по данной тематике следует значительно расширить, показывая, что сарептская горчица может являться ценным сырьем для различных отраслей народного хозяйства. Оставляем за собой право привести результаты наших исследований в последующих работах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнян, Н. С. Лабораторный практикум по технологии переработки жиров / Н. С. Арутюнян [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1991. – 160 с.

2. Бочков, А. Ф. Образование и расщепление гликозидных связей / А. Ф. Бочков [и др.]. – М.: Наука, 1978. – 320 с.

3. Васин, А. В. О пригодности горчичного шрота к скармливанию / А. В. Васин, Ю. П. Квиткин // Сельское хозяйство Поволжья. – 1957. – № 6. – С. 12.

4. Васин, А. В. Диагностика отравлений животных и птицы / А. В. Васин, Ю. П. Квиткин // Сельское хозяйство Поволжья. – 1957. – № 6. – С. 28–29.

5. Голдовский, А. М. Теоретические основы производства растительных масел / А. М. Голдовский. – М.: Пищепромиздат, 1958. – 446 с.

6. Григорьева, В. Н. Семена сарептской горчицы, состав и свойства входящих в них компонентов / В. Н. Григорьева [и др.] // Масложировая промышленность. – 1992. – № 2. – С. 6–16.

7. Дублянская, Н. Ф. Содержание аллилового масла в семенах горчицы и методика его определения / Н. Ф. Дублянская // В кн.: Краткий отчет о научно-исследовательской работе. – Краснодар: Институт масличных и эфиромасличных культур, 1957. – С. 56–64.

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

9. Изучение кормового достоинства и эффективность использования побочных продуктов горчичного производства (обезвреженный и не обезвреженный горчичный жмых, высевки, горчичная шелуха, фуз) в рационах крупного рогатого скота. Отчет о НИР / Волгоградская сельскохозяйственная академия; (СХИ). Руководитель В. М. Куликов – Волгоград, 1993. – 82 с.

10. Ицкович, А. Ю. Эффективность использования кормовых остатков маслобойно-горчичного производства в рационах дойных коров: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук: 06.02.02 – Дубровицы Моск. обл., 1996. – 18 с.

11. Космодемьянский, М. П. Сарептская горчица / М. П. Космодемьянский, Е. Н. Кулина. – Волгоград: Нижне-Волжское изд., 1967. – 186 с.

12. Кузнецов, М. А. Скармливание животным горчичного жмыха / М. А. Кузнецов // Молочное и мясное скотоводство. – 1963. – № 11. – С. 12–17.

13. Куликов, В. М. Резервы протеинового питания животных в Нижне-Волжском регионе / В. М. Куликов [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1984. – № 6. – С. 92.

14. Куликов, В. М. Использование отходов масложировой и перерабатывающей промышленности в кормлении сельскохозяйственных животных / В. М. Куликов [и др.]. – Волгоград: ВГСХА, 1998. – С. 5–108.

15. Луценко, С. П. Применение обезвреженного горчичного жмыха и шелухи при откорме крупного рогатого скота / С. П. Луценко [и др.] // Ученые Волгоградского СХИ – наука и практике. – Волгоград: ВГСХА, 1996. – С. 156–159.

16. Минкевич, И. А. Масличные культуры / И. А. Минкевич, В. Е. Борковский. – М.: Гос. изд. с/х л-ры, 1953. – 414 с.

17. Найда, А. А. Горчичный жмых – важный резерв белковых кормов / А. А. Найда // Сельское хозяйство Поволжья. – 1963. – № 6. – С. 25–84, 37–39.

18. Обзор по биохимическим и физиологическим свойствам семян горчицы: Отчет о НИР / ВНИИЖ; Руководитель темы П. П. Демченко – Л.: 1992. – С. 2–29.

19. Определение возможности ввода в комбикорма концентрата белкового кормового из натурального растительного сырья: Отчет о НИР / ВНИИЖП Руководитель темы Л. Я. Бойко. – Воронеж, 1993. – 25 с.

20. Русакова, Г. Г. Горчичные отруби – ценная кормовая добавка в рационы молодняка крупного рогатого скота на откорме / Г. Г. Русакова, Т. В. Киселева, М. М. Русакова, Я. В. Дергилев, В. Б. Котенко, Е. Д. Парахневич, Д. В. Парахневич // Кормопроизводство. – 2012. – № 11. – С. 40–43.
21. Производственный технологический регламент производства масла и горчичного порошка № 3-2-94. – Волгоград: АО ВМЭЗ «Сарепта», 1994. – 164 с.
22. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / под общ. науч. ред. д-ра техн. наук проф. А. Г. Сергеева. Т. 1–7. – Л.: ВНИИЖ. – 1975. – 1977. – 1268 с.
23. Руководство по методам исследования, технологическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / Под общей редакцией В. П. Ржехина, А. Г. Сергеева. – Л.: ВНИИЖ, т. 1-7. – 1956. – 1977. – 960 с.
24. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. – М.: Брандесс, Медицина – 1998. – 341 с.
25. Русакова, Г. Г. Разработка и усовершенствование технологий подготовки к скармливанию семян горчицы и побочных продуктов горчично-маслобояного производства и использование их в рационах сельскохозяйственных животных: дис. ... д-ра сельхоз. наук: 06-02-02. – Дубровицы Моск. обл., 1998. – 297 с.
26. Русакова, Г. Г. Семена горчицы и продукты их переработки – ценный корм для сельскохозяйственных животных и птицы: монография. – Волгоград: ИКЦ ООО «Фирма Л.Б.Т.», 1998. – 92 с.
27. Русакова, Г. Г. Утилизация токсичных отходов горчично-маслобояного производства / Г. Г. Русакова [и др.] // Изв. Тульского государственного университета. Серия: Экология и рациональное природопользование. – 2006. – Вып. 1. – С. 80–81.
28. Русакова, Г. Г. Изучение возможности предотвращения вывоза в отвал семян горчицы и продуктов их переработки / Г. Г. Русакова [и др.] // Изв. Тульского государственного университета. Серия: Экология и рациональное природопользование. – 2006. – Вып. 1. – С. 104–112.
29. Русакова, Г. Г. Технологические процессы утилизации токсичных отходов горчично-маслобояного производства: монография / Г. Г. Русакова и [др.]. – Волгоград: Политехник ВолгГТУ, 2008. – 178 с.
30. Русакова, Г. Г. Комплексная переработка семян горчицы: монография / Г. Г. Русакова, В. А. Хомутов, Д. В. Парахневич, М. М. Русакова. – Волгоград: ИПК «Нива» ФГОУ ВПО ВГСХА, 2009. – 193 с.
31. Русакова, Г. Г. Горчица: монография / Г. Г. Русакова. – Волгоград: ФГУ ВПО ВГСХА. ИПК «Нива», 2012. – 600 с.
32. Русакова, Г. Г. Переработка отходов горчично-маслобояного производства в корма для сельскохозяйственных животных и птицы: монография / Г. Г. Русакова, Я. В. Дергилев, Д. В. Парахневич, Е. Д. Парахневич, М. М. Русакова, Т. В. Киселева. – Волгоград: ИПК «Нива» ФГОУ «Волгоградская ГСХА», 2012. – 192 с.
33. Русакова, Г. Г. Использование эфирного горчичного масла в различных отраслях сельского хозяйства / Г. Г. Русакова, Е. Д. Парахневич, Д. В. Парахневич, М. М. Русакова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. – 2014. – № 4 (36). – С. 173–175.
34. Филатов, И. И. Использование кормов животных в зависимости от технологии приготовления / И. И. Филатов // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1983. – № 3. – С. 124–127.
35. Чешева, А. Г. Выращивание цыплят-бройлеров на рационах с горчичным жмыхом и белково-витаминным концентратом (БВК): Автореф. дис... канд. сельхоз. наук: 06.02.02 / А. Г. Чешева. – Волгоград, 1976. – 16 с.
36. Чичибабин, А. Е. Основные начала органической химии: учеб. для вузов / А. Е. Чичибабин. – М.: Химия, 1954. – Т. 1. – 797 с.
37. McKay, W. The use of antibiotics in animal feeds in the United Kingdom // The impact and importance of legislative controls World Poultry Sci. – 1975. – 31, 2. – P. 116–128.

УДК 66.023

*А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, А. А. Коберник*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АДСОРБЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Предлагается проводить расчет адсорбера непрерывного действия, оптимизируя расход адсорбента, соответствующего минимуму амортизационных отчислений на капитальные затраты, связанные с размером колонны, и на оборотные средства, связанные с расходом адсорбента и его регенерацией. Приведено сравнение типов алгоритма расчета, в котором расход адсорбента принимается на 3–50 % больше минимального и предлагаемого алгоритма, учитывающего капитальные затраты и оборотные средства. Показано, что при увеличении времени эксплуатации колонны рабочий расход адсорбента можно значительно снижать.

**Ключевые слова:** адсорбция, концентрация, капитальные затраты, оборотные средства, минимальный, рабочий и оптимальный расходы адсорбента.

*A. B. Golovanchikov, O. A. Zalipaeva, A. A. Kobernik*

# MODELING OF ADSORBER OF CONTINUOUS ACTION WITH ACCOUNT OF ENERGY AND RESOURCE SAVING

Volgograd State Technical University

It is proposed to carry out the calculation of the continuous adsorber, optimizing the consumption of the adsorbent, which corresponds to the minimum of depreciation charges for capital costs associated with the size of the column, and the working capital associated with the consumption of the adsorbent and its regeneration. Comparison of a typical calculation algorithm in which the adsorbent consumption is assumed to be 3 ÷ 50 % greater than the minimum and proposed algorithm taking into account capital costs and working capital is given. It is shown that with an increase in the operating time of the column, the operating consumption of the adsorbent can be significantly reduced.

**Keywords:** adsorption, concentration, capital costs, working capital, minimum, working and optimal costs of the adsorbent.

Известные типовые методики расчетов адсорберов непрерывного действия основаны на определении из материального баланса (с учетом равновесной зависимости концентрации извлекаемого компонента в адсорбенте как функции его концентрации в очищаемом газе) минимального расхода адсорбента, который увеличивают на 3÷50 % и принимают за его рабочий расход [1–4]. В целом этот алгоритм подобен расчету абсорбционных и экстракционных аппаратов.

В алгоритме, связанном с расчетом ректификационных колонн, делается попытка оптимизировать амортизационные отчисления на капитальные затраты, варьируя флегмовое число так, чтобы функция  $U$ , пропорциональная объему колонны, была минимальной

$$U = (R+1) \cdot N \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $R$  – флегмовое число,  $N$  – число теоретических тарелок в обеих частях колонны.

Целью работы является определение оптимального расхода адсорбента, при котором сумма амортизационных отчислений на капи-

тальные затраты, пропорциональные объему колонны, и оборотные средства, затрачиваемые на работу с адсорбентом (его стоимость, регенерация, энергозатраты) будет минимальной. Эту функцию  $C$  удобно записать в виде бинорма

$$C = aV_k + G_y \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $V_k$  – объем колонны,  $G_y$  – расход адсорбента,  $a$  – коэффициент, характеризующий отношение доли капитальных затрат к оборотным средствам.

Так, если стоимость колонны составляет 1 млн руб. и ее эксплуатация рассчитана на 10 лет, то амортизационные отчисления составят 100 тыс. рублей в год. Если амортизационные отчисления за год составляют 435 тыс. рублей, то

$$a = 100/435 = 0,23.$$

Ниже в табл. 1 приведены исходные, справочные данные и расчетные параметры адсорбционной колонны непрерывного действия для очистки воздуха от паров диэтилового эфира гранулами активного угля.

Таблица 1

Исходные, справочные данные и расчетные параметры адсорбционной колонны непрерывного действия для улавливания паров  $C_4H_{10}O$  из воздуха

| №               | Наименование параметра                                   | Размерность | Обозначение |             | Величина          |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
|                 |                                                          |             | В статье    | В программе |                   |
| 1               | 2                                                        | 3           | 4           | 5           | 6                 |
| Исходные данные |                                                          |             |             |             |                   |
| 1               | Производительность по воздуху                            | $м^3/час$   | $q_v$       | $qv$        | 2000              |
| 2               | Начальная концентрация паров в воздухе                   | $кг/м^3$    | $c_o$       | $co$        | 0,006             |
| 3               | Конечная концентрация паров в воздухе                    | $кг/м^3$    | $c_k$       | $ck$        | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| 4               | Начальная концентрация паров в цеолите после регенерации | $кг/кг$     | $a_n$       | $an$        | $1 \cdot 10^{-5}$ |

Продолжение табл. 1

| №                 | Наименование параметра                                                                   | Размерность           | Обозначение |             | Величина                |                             |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
|                   |                                                                                          |                       | В статье    | В программе |                         |                             |
| 1                 | 2                                                                                        | 3                     | 4           | 5           | 6                       |                             |
| Справочные данные |                                                                                          |                       |             |             |                         |                             |
| 1                 | Давление в адсорбере                                                                     | атм.                  | $p_a$       | $pa$        | 1,033                   |                             |
| 2                 | Рабочая температура в адсорбере                                                          | °C                    | $t$         | $t$         | 20                      |                             |
| 3                 | Рабочая температура стандартного вещества – бензола                                      | °C                    | $t_б$       | $t_в$       | 20                      |                             |
| 4                 | Размер гранул активного угля                                                             | м                     | $d_3$       | $d3$        | 0,004                   |                             |
| 5                 | Насыпная плотность гранул цеолита                                                        | кг/м <sup>3</sup>     | $\rho_n$    | $\rho_{on}$ | 500                     |                             |
| 6                 | Молекулярная масса паров диэтилового эфира                                               | кг/кмоль              | $M$         | $M$         | 36,5                    |                             |
| 7                 | Молекулярная масса воздуха                                                               | кг/кмоль              | $M_0$       | $M_0$       | 29                      |                             |
| 8                 | Молекулярная масса стандартного вещества - бензола                                       | кг/кмоль              | $M_б$       | $M_в$       | 78                      |                             |
| 9                 | Плотность конденсата – диэтилового эфира                                                 | кг/м <sup>3</sup>     | $\rho$      | $\rho_0$    | 714                     |                             |
| 10                | Плотность жидкого бензола при 20 °C                                                      | кг/м <sup>3</sup>     | $\rho_б$    | $\rho_{ов}$ | 879                     |                             |
| 11                | Давление насыщенных паров диэтилового эфира                                              | мм.рт.ст.             | $P^*$       | $P_n$       | 442                     |                             |
| 12                | Давление насыщенных паров стандартного вещества – бензола при 20 °C                      | мм.рт.ст.             | $P_n$       | $P_{вн}$    | 75                      |                             |
| 13                | Коэффициент диффузии паров в воздухе при 0 °C и $P = 1$ атм.                             | м <sup>2</sup> /с     | $D_0$       | $D_0$       | $7,78 \cdot 10^{-6}$    |                             |
| 14                | Кинематическая вязкость воздуха при нормальных условиях                                  | м <sup>2</sup> /с     | $\nu$       | $\nu_i$     | $1,5 \cdot 10^{-5}$     |                             |
| 15                | Массив заданных равновесных концентраций стандартного вещества – бензола в активном угле | кг/кг                 | $a_б^*$     | $av(i)$     | см. программу и табл.2  |                             |
| 16                | Массив рабочих парциальных давлений в воздухе при нормальных условиях                    | мм.рт.ст.             | $p_б$       | $pв(i)$     | см. программу и табл.2  |                             |
|                   | Расчетные параметры                                                                      |                       |             |             | Типовой расчет          | Расчет с учетом формулы (2) |
| 1                 | Мольный объем стандартного вещества – бензола                                            | м <sup>3</sup> /кмоль | $V_б$       | $V_в$       | 0,0887                  | 0,0887                      |
| 2                 | Мольный объем диэтилового эфира                                                          | м <sup>3</sup> /кмоль | $V$         | $V$         | 0,0511                  | 0,0511                      |
| 3                 | Отношение мольных объемов диэтилового эфира и стандартного вещества – бензола            | м <sup>3</sup> /кмоль | $v$         | $v$         | 0,576                   | 0,576                       |
| 4                 | Плотность воздуха при рабочем давлении и температуре в колонне                           | кг/м <sup>3</sup>     | $\rho_g$    | $\rho_{ог}$ | 1,206                   | 1,206                       |
| 5                 | Допускаемая рабочая скорость воздуха в колонне                                           | м/с                   | $w$         | $W$         | 0,331                   | 0,331                       |
| 6                 | Массив равновесных концентраций диэтилового эфира в адсорбенте                           | кг/кг                 | $a^*$       | $a(i)$      | см. программу и табл. 2 | см. программу и табл. 2     |
| 7                 | Массив парциальных давлений диэтилового эфира в воздухе                                  | мм.рт.ст.             | $p$         | $p(i)$      | см. программу и табл. 2 | см. программу и табл. 2     |
| 8                 | Массив концентраций паров диэтилового эфира в воздухе при рабочем давлении и температуре | кг/м <sup>3</sup>     | $c$         | $c(i)$      | см. программу и табл. 2 | см. программу и табл. 2     |

Продолжение табл. 1

|    |                                                                                                                                                                                                      |                                                                               |              |               |                         |                         |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 9  | Массив концентраций стандартного вещества – паров бензола в воздухе при рабочем давлении и температуре                                                                                               | $\text{кг}/\text{м}^3$                                                        | $c_0$        | $св(i)$       | см. программу и табл. 2 | см. программу и табл. 2 |
| 10 | Парциальное давление паров диэтилового эфира в воздухе, соответствующее его начальной концентрации $C_0$                                                                                             | $\text{мм.рт.ст.}$                                                            | $p_0$        | $p_0$         | 3                       | 3                       |
| 11 | Парциальное давление паров диэтилового эфира в воздухе, соответствующее его конечной концентрации                                                                                                    | $\text{мм.рт.ст.}$                                                            | $p_n$        | $p_n$         | $1,5 \cdot 10^{-2}$     | $1,5 \cdot 10^{-2}$     |
| 12 | Равновесная концентрация адсорбируемого вещества – диэтилового эфира, соответствующая его начальной концентрации в воздухе                                                                           | $\text{кг}/\text{кг}$                                                         | $a_p^*$      | $ap_0$        | 0,025                   | 0,025                   |
| 13 | Равновесная концентрация адсорбируемого вещества – диэтилового эфира, соответствующая его конечной концентрации в воздухе                                                                            | $\text{кг}/\text{кг}$                                                         | $a_{pk}^*$   | $apk$         | $1,25 \cdot 10^{-4}$    | $1,25 \cdot 10^{-4}$    |
| 14 | Коэффициент диффузии диэтилового эфира в воздухе при рабочем давлении и температуре                                                                                                                  | $\text{м}^2/\text{с}$                                                         | $D_p$        | $D_p$         | $8,65 \cdot 10^{-6}$    | $8,65 \cdot 10^{-6}$    |
| 15 | Объемный коэффициент массоотдачи извлекаемого вещества диэтилового эфира из воздуха к поверхности адсорбента                                                                                         | $\frac{\text{кг}/\text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{м}^3 \text{кг}/\text{м}^3}$ | $\beta_y$    | $\beta_y$     | 11,14                   | 11,14                   |
| 16 | Среднее значение тангенса угла наклона равновесной линии                                                                                                                                             | $\frac{\text{кг}/\text{м}^3}{\text{кг}/\text{кг}}$                            | $\Gamma_p$   | $gr$          | 2086,2                  | 2086,2                  |
| 17 | Значение коэффициента $\epsilon_0$ , учитываемого в расчете времени адсорбции в адсорбере периодического действия                                                                                    | —                                                                             | $\epsilon_0$ | $\epsilon_0$  | 1,84                    | 1,84                    |
| 18 | Время защитного действия неподвижного слоя адсорбента в колонне периодического действия                                                                                                              | $\text{с}, \text{час}$                                                        | $\tau_l$     | $tl$          | 1263<br>0,359           | 1263<br>0,359           |
| 19 | Равновесная концентрация стандартного вещества – бензола в адсорбенте, соответствующая парциальному давлению $P_0$ для извлекаемого компонента – диэтилового эфира адсорбера периодического действия | $\text{кг}/\text{м}^3$                                                        | $a_p$        | $ap$          | $1,73 \cdot 10^{-4}$    | $1,73 \cdot 10^{-4}$    |
| 20 | Диаметр адсорбера                                                                                                                                                                                    | $\text{м}$                                                                    | $D_a$        | $Da$          | 1,345                   | 1,345                   |
| 21 | Масса неподвижного слоя адсорбента в адсорбере периодического действия                                                                                                                               | $\text{кг}$                                                                   | $G_y$        | $G_y$         | 497,45                  | 497,45                  |
| 22 | Средняя концентрация диэтилового эфира в неподвижном слое угля в конце рабочего цикла                                                                                                                | $\text{кг}/\text{кг}$                                                         | $a_y$        | $ay$          | $8,61 \cdot 10^{-4}$    | $8,61 \cdot 10^{-4}$    |
| 23 | Масса поглощенного диэтилового эфира в неподвижном слое угля за один цикл работы (за время защитного действия)                                                                                       | $\text{кг}$                                                                   | $m_n$        | $mn$          | 4,283                   | 4,283                   |
| 24 | Степень использования емкости адсорбента в адсорбере периодического действия                                                                                                                         | --                                                                            | $\kappa_n$   | $\kappa_n$    | 0,344                   | 0,344                   |
| 25 | Объем воздуха, очищаемый 1 кг адсорбента                                                                                                                                                             | $\text{м}^3/\text{кг}$                                                        | $y_n$        | $yn$          | 1,44                    | 1,44                    |
| 26 | Степень очистки воздуха от диэтилового эфира                                                                                                                                                         | --                                                                            | $X$          | $\kappa_{си}$ | 0,995                   | 0,995                   |

Окончание табл. 1

| Параметры адсорбера непрерывного действия |                                                                            |                     |              |          |                      |                     |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|----------|----------------------|---------------------|
| 1                                         | Конечная концентрация в адсорбенте диэтилового эфира                       | кг/кг               | $a_k$        | $ak$     | 0,0213               | 0,0161              |
| 2                                         | Число единиц переноса по воздуху                                           | --                  | $\text{ЧЕП}$ | $Sp$     | 21,9                 | 10,65               |
| 3                                         | Скорость движения слоя угля                                                | м/с                 | $U$          | $U$      | $1,87 \cdot 10^{-4}$ | $2,9 \cdot 10^{-4}$ |
| 4                                         | Высота движущегося слоя угля                                               | м                   | $H_y$        | $H_y$    | 0,787                | 0,376               |
| 5                                         | Расход угля                                                                | кг/час              | $Q_y$        | $Q_y$    | 503,8                | 741,9               |
| 6                                         | Время пребывания движущегося слоя угля в колонне                           | час                 | $\tau_l$     | $tl$     | 1,14                 | 0,360               |
| 7                                         | Диаметр адсорбера                                                          | м                   | $D_a$        | $Da$     | 1,345                | 1,345               |
| 8                                         | Высота адсорбера                                                           | м                   | $H_a$        | $Ha$     | 2,786                | 2390                |
| 9                                         | Объем адсорбера                                                            | м <sup>3</sup>      | $V_{ad}$     | $Vad$    | 3,96                 | 3,39                |
| 10                                        | Объем воздуха, очищаемый 1 кг адсорбера                                    | м <sup>3</sup> /час | $y_d$        | $yd$     | 4,02                 | 2,68                |
| 11                                        | Степень использования емкости адсорбента в адсорбере непрерывного действия | --                  | $\eta_a$     | $ed$     | 0,85                 | 0,644               |
| 12                                        | Коэффициент избытка адсорбента по сравнению с его минимальным расходом     | --                  | $k_{ua}$     | $kua$    | 1,177                | 1,54                |
| 13                                        | Минимальный расход адсорбента                                              | кг/час              | $G_{ym}$     | $G_{ym}$ | 478,86               | 478,86              |

Таблица 2

**Равновесные зависимости концентраций диэтилового эфира и стандартного вещества – паров бензола в активном угле от их рабочих концентраций и парциальных давлений в воздухе**

| № | Наименование параметра                                  | Размерность        | Обозначение       | Величина для точек массива |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |                                                         |                    |                   | 1                          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|   | <i>Стандартное вещество – бензол</i>                    |                    |                   |                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1 | Концентрация паров бензола в воздухе                    | кгВ/м <sup>3</sup> | $c_b \times 10^3$ | 0                          | 0,447 | 0,95  | 4,26  | 12,78 | 34,07 | 55,03 | 80,3  | 140,5 | 178,9 |
| 2 | Парциальное давление паров бензола в воздухе            | мм.рт.ст           | $p_b$             | 0                          | 0,1   | 0,223 | 1     | 3     | 8     | 13    | 19    | 33    | 42    |
| 3 | Равновесная концентрация бензола в адсорбенте           | кгВ/кг             | $a_b$             | 0                          | 0,1   | 0,122 | 0,208 | 0,288 | 0,267 | 0,276 | 0,294 | 0,318 | 0,388 |
|   | <i>Извлекаемое вещество – диэтиловый эфир</i>           |                    |                   |                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 4 | Концентрация паров диэтилового эфира в воздухе          | кгА/м <sup>3</sup> | $c \times 10^2$   | 0                          | 2     | 3,08  | 7,42  | 13,8  | 24,27 | 32,1  | 39,9  | 54,9  | 69,1  |
| 5 | Парциальное давление паров диэтилового эфира в воздухе  | мм.рт.ст           | $p$               | 0                          | 10    | 15,5  | 36,7  | 69,2  | 121,7 | 161   | 200,4 | 275,4 | 316,5 |
| 6 | Равновесная концентрация диэтилового эфира в адсорбенте | кгА/кг             | $a \times 10^2$   | 0                          | 5,376 | 9,91  | 16,3  | 18,9  | 21,3  | 22,4  | 23,9  | 25,8  | 27,5  |

На рис. 1 представлены результаты расчетов равновесной зависимости концентрации диэтилового эфира в адсорбенте от давления его пар-

циальных паров и концентрации в воздухе, рассчитанные по известной аналогичной зависимости для стандартного вещества – бензола [1].

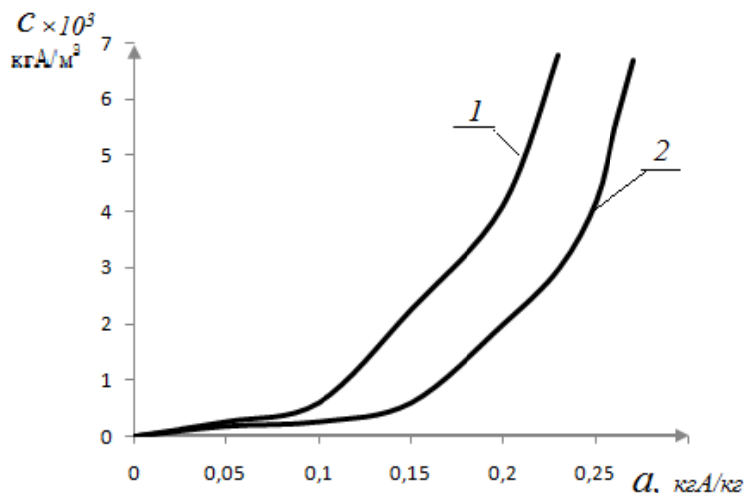


Рис. 1. Зависимость концентраций компонента в адсорбенте от его концентрации в воздухе:

1 – для стандартного вещества бензола, 2 – для этилового спирта

Даже первая точка этой расчетной зависимости  $C_m = 0,02 \text{ кг/м}^3$  в три раза превышает начальную концентрацию паров диэтилового эфира в воздухе равную  $C_0 = 0,006 \text{ кг/м}^3$ . Поэтому равновесную линию процесса адсорбции

паров диэтилового эфира из воздуха можно представить в виде прямой линии, выходящей из начала координат и проходящую через точку  $I$  с координатами  $a_0^* = 0,025$ ,  $c = 0,006$  (рис. 2, линия 1).

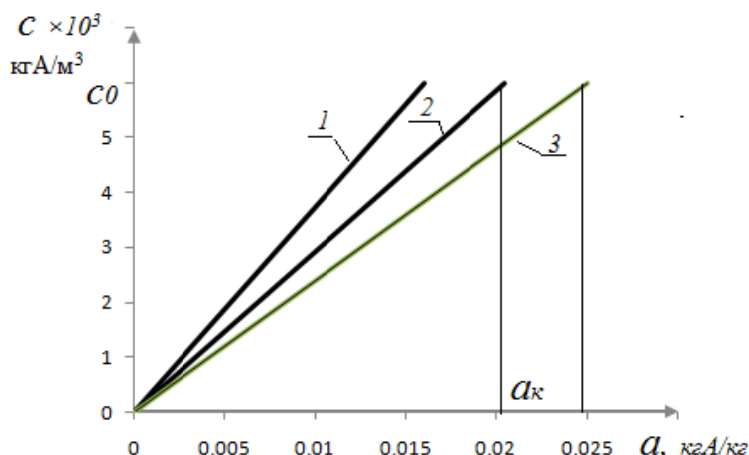


Рис. 2. Равновесная (1) и рабочие линии процесса адсорбции в адсорбере непрерывного действия:

2 – для типового алгоритма расчета,  $k_{ia} = 1,18$ ; 3 – для предлагаемого алгоритма по формуле (2),  $k_{ia}^* = 1,54$

Здесь же на рис. 2 представлена рабочая линия 2 для процесса адсорбции в колонне непрерывного действия, рассчитанная по типовому алгоритму, когда  $a_k = 0,85 a_0^*$ , что в пересчете согласно формулам материального баланса для минимального расхода адсорбента

$$G_{ym} = \frac{q_v(c_0 - c_k)}{(a_0^* - a_n)}$$

и для рабочего расхода адсорбента

$$G_{ym} = \frac{q_v(c_0 - c_k)}{(a - a_n)}$$

приводит к формуле для расчета коэффициента избытка адсорбента

$$K_{ia} = \frac{G_m}{G_{ym}} = \frac{(a_0^* - a_n)}{(a_k - a_n)} = 1,177,$$

то есть увеличению рабочего расхода адсорбента на 17,7 %.

Расчеты по формуле (2), связанные с минимизацией функции капитальных затрат и оборотных средств, показывают, что эта функция  $C$  имеет минимум при расходе адсорбента на 54 % превышающем его минимальный расход (рис. 3), то есть повышающие расход адсорбен-

та по сравнению с типовым расчетом на 32 %: с 563,8 кг/час до 741,9 кг/час. Как видно из

рис. 3, функция  $C$  уменьшается с величины 1,06 до 0,586 или на 6,3 %.

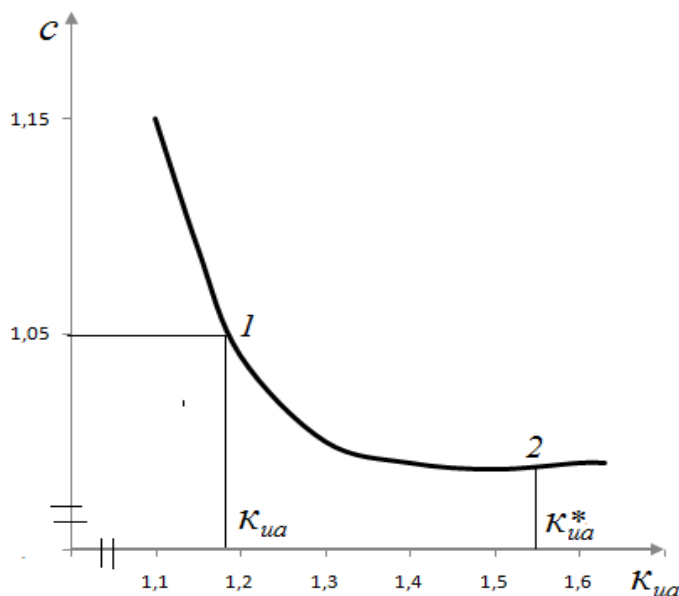


Рис. 3. Зависимость функции минимизации стоимости капитальных затрат и оборотных средств от коэффициента избытка адсорбента: точка 1 соответствует типовому алгоритму расчета, точка 2 – формуле (2)

Увеличение срока службы колонны на 1 год, например с 10 до 11 лет, приводит к уменьшению коэффициента  $a$  до величины  $a = 0,201$  и позволяет сократить расход адсорбента до 738 кг/час. При этом высота движущегося сверху вниз слоя адсорбента уменьшается более чем в 2 раза с 0,787 м до 0,376. Снижается и время пребывания гранул адсорбента в колонне с 1,14 часа до 0,36 часа, причем скорость адсорбента, опускающегося сверху вниз, возрастает с 0,187 мм/с до 0,29 мм/с. Снижается и степень использования емкости адсорбента с 85 % до 64 %, тоже касается и удельной производительности, связанной с объемом воздуха, очищаемого одним килограммом адсорбента. Она снижается с 4 м<sup>3</sup>/кг до 2,68 м<sup>3</sup>/кг. Диаметр адсорбера и скорость движения через слой адсорбента снизу вверх очищаемого воздуха остаются неизменными. Высота адсорбера несколько снижается с 3,96 м до 3,39 м.

Таким образом, предлагаемый алгоритм расчета оптимального расхода адсорбента, учитывающий капитальные затраты и оборотные средства, позволяет снизить себестоимость процесса адсорбции на 6÷7 %. Продление срока службы колонны приводит к уменьшению соотношения капитальных затрат и оборотных средств и снижению как коэффициента  $a$ , ха-

рактеризующего это отношение, так и коэффициента избытка адсорбента.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для студ. хим.-технолог. спец. вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, 2013. – 576 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд., стер. – М. : Альянс, 2008. – 494 с.
3. Романков, П. Г. Непрерывная адсорбция газов и паров / П. Г. Романков, В. Н. Липилин. – М.: Химия, 1968. – 226 с.
4. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии: учебное пособие. Ч. 4. Массообменные процессы / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов. – Волгоград, ВолГГТУ, 1987. – 117 с.
5. Пери, Дж. Справочник инженера-химика. Том первый / Под ред. Н. М. Жаворонкова. – Л.: Химия, 1969. – 639 с.
6. Техника защиты окружающей среды : учеб. пособие для студ. хим.-технолог. спец. вузов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
7. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1 / А. С. Тимонин. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
8. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя. 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1967. – 182 с.

УДК 351.811.111

*А. Б. Тринкер***ЖЕЛЕЗОБЕТОН, МОСТЫ И ДОРОГИ РОССИИ И ФРГ****Технологический центр восстановления & Консультации в достижении нововведений**

E-mail: alex47@yandex.ru

Мосты и дороги одна – из самых главных проблем России, которая, однако, не является предосудительной, транспортные магистрали объединяют в единое целое и обеспечивают: монолитность, производительность, инновации и инвестиции всей страны, от качества магистралей зависит ускорение темпов грузооборота, точно так же обстоят дела и в ФРГ с традиционно-вековым отношением к транспорту как важнейшему показателю экономики.

*Ключевые слова:* железобетон, мосты и дороги, долговечность, износостойкость, морозостойкость, истираемость, предотвращение аварий.

*A. B. Trinker***STEEL CONCRETE, BRIDGES AND ROADS OF RUSSIA AND GERMANY****Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation**

Bridges and roads one of the most important problems of Russia which however isn't reprehensible unite thoroughfares in a whole and provide: the solidity, productivity, innovations and investments of the whole country, depends on quality of highways acceleration of rates of goods turnover, the situation and in Germany with the traditional and century relation to transport as to the most important indicator of economy in the same way are.

*Keywords:* steel concrete, bridges and roads, durability, wear resistance, frost resistance, firmness on wear, accident prevention.

С 1930-х годов в МАДИ была кафедра «Мосты и тоннели», которую возглавляли знаменитые ученые, кафедра выпускала хороших специалистов. Построенные ими мосты и тоннели на БАМе в условиях Вечной Мерзлоты и катастрофического тяжелого климата, который способствует коррозии, успешно выдержали все испытания и стихии.

Изучение истории всемирного строительства показывает: техногенные катастрофы это результат безграмотности ученых, проектировщиков, инженеров, самые актуальные примеры:

1. 11 сентября 2001 года в результате террористического акта в Нью-Йорке в двух небоскребах высотой 415 метров возник пожар, и небоскребы примерно через один час рухнули, жертвами оказались несколько тысяч человек. Катастрофа была результатом инженерных ошибок в проектировании зданий, которые не имели достаточного запаса по прочности и не были надежно защищены от пожара.

Известно, что Останкинская телебашня в 2000 году успешно выдержала 1000-градусный пожар на высотах 300–400 метров в течение двух суток, хотя был применен нежаростойкий рядовой портландский цемент! Причем, из 149 преднапряженных канатов, которые обеспечивали устойчивость, 120 канатов при

пожаре оборвались, и в течение периода изготовления и монтажа новых преднапряженных канатов, Останкинская башня устойчиво стояла на одном бетоне, хотя давно известно: бетон на изгиб не работает, а ветры на космической высоте были штормовые!

2. В Итальянской Генуе 14 августа 2018 года обрушился мост и погибли 40 человек. В результате инженерных ошибок в проектировании моста (отсутствие запаса по прочности и надежности) и отсутствия ППР – планово-предупредительного ремонта с обследованием моста. Естественный итог инженерных ошибок: коррозия бетона и арматуры вызвали техногенную катастрофу с человеческими жертвами. Причем произошло это в очень теплом и стабильном климате Италии без низких отрицательных температур и без штормовых ветров и пожара, как на Останкинской телебашне в 2000 году на космической высоте! Выводы: студентов, ученых и инженеров необходимо грамотно учить проектировать и строить подобные сооружения!

В отличие от Москвы, город Кельн (*Köln*), основанный римлянами 2000 лет назад, характеризуется мягкой зимой (январь +2 °С), умеренно теплым летом (июль +18 °С), лондонскими туманами и частыми морозящими дож-

дами (табл. 1 и 2). Кельн расположен в переходной зоне от умеренно морского климата к континентальному с мягкой зимой. Среднегодовое количество осадков с почти 300 дождли-

выми днями в течение года располагают Кельн в середине списка из 40 крупнейших городов Германии.

Таблица 1

## Климат Кельна

| Климат Кельна                 | Месяц |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                               | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Максимальная температура (°C) | 5,2   | 6,6  | 10,5 | 14,2 | 19,0 | 21,3 | 23,7 | 23,7 | 19,6 | 14,6 | 9,0  | 6,2  |
| Минимальная температура (°C)  | -0,7  | -0,9 | 1,7  | 3,6  | 7,7  | 10,7 | 12,8 | 12,3 | 9,6  | 6,2  | 2,5  | 0,6  |
| Количество осадков (мм)       | 60,4  | 46,6 | 62,5 | 50,5 | 72,4 | 87,6 | 86,0 | 65,3 | 69,3 | 61,7 | 63,2 | 70,7 |

Источник: DWD данные: 1971–2010

Таблица 2

## Климат Москвы : за весь период наблюдений (1879–2010, объединенные данные ТСХА + ВВЦ )

| Показатель              | Янв.  | Фев.  | Март  | Апр. | Май  | Июнь | Июль | Авг. | Сен. | Окт.  | Нояб. | Дек.  | Год   |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Средний максимум, °C    | –4    | –3,7  | 2,6   | 11,3 | 18,6 | 22,0 | 24,3 | 21,9 | 15,7 | 8,7   | 0,9   | –3    | 9,6   |
| Средняя температура, °C | –6,5  | –6,7  | –1    | 6,7  | 13,2 | 17,0 | 19,2 | 17,0 | 11,3 | 5,6   | –1,2  | –5,2  | 5,8   |
| Средний минимум, °C     | –9,1  | –9,8  | –4,4  | 2,2  | 7,7  | 12,1 | 14,4 | 12,5 | 7,4  | 2,7   | –3,3  | –7,6  | 2,1   |
| Абсолютный минимум, °C  | –42,2 | –38,2 | –32,4 | –21  | –7,5 | –2,3 | 1,3  | –1,2 | –8,5 | –20,3 | –32,8 | –38,8 | –42,2 |
| Норма осадков, мм       | 52    | 41    | 35    | 37   | 49   | 80   | 85   | 82   | 68   | 71    | 55    | 52    | 707   |

Источник: «Погода и Климат»

Погодные условия Кельна позволяют, в отличие от Москвы, строить круглогодично (!) без дорогостоящих затрат на весь огромный комплекс полугодовых (!) мероприятий в России по проектированию, теплозащите, применению технологий позволяющих зимнее бетонирование, обогреву заполнителей и бетона, контролю качества, логистике.

Климат Кельна и всей Германии наиболее приспособлен и благоприятен для производства монолитных бетонных работ, для строительства любых сооружений без применения противоморозных мероприятий, то есть без лишних экономических затрат и проблем вызванных в России: высоким суточным перепадом температур, частыми переходами через 0 °C (замораживание–размораживание), без критически низких температур зимой, а летом без засушливой и сухой погоды. То есть строительству в Германии заранее по состоянию погоды обеспечена значительная экономия: материалов, топлива и трудозатрат по сравнению с Россией!

Однако несмотря на значительные климатические преимущества Германии перед Россией,

в ФРГ точно так же разрушаются покрытия автомобильных дорог и железобетонные мосты.

Кельн занимает площадь 405 км<sup>2</sup>, на которых проживают более 1 млн человек, плотность населения 2500 человек на 1 км<sup>2</sup>. Для сравнения Москва занимает площадь 2500 км<sup>2</sup>, на которых проживает примерно 12 млн человек, плотность населения 4700 человек на 1 км<sup>2</sup>.

По статистике в Кельне 550 тысяч легковых авто, половину составляют малолитражки местного завода FORD, или 550 авто на 1000 жителей, в Москве зарегистрировано 4,2 млн легковых автомобилей, то есть около 300 авто на 1000 жителей столицы. Общая протяженность автомобильных дорог в Москве составляет 4,4 тыс. км, а в Кельне в полтора раза больше и все дороги высшей категории качества.

Можно сделать промежуточный вывод: в Москве недостаточна общая протяженность транспортных магистралей и, как следствие, увеличенные нагрузки на дороги являются причиной их разрушения.

В газете «Kölner Stadt Anzeiger» («Кельнские ведомости») часто публикуют отзывы ав-

томобилистов: «движение по дорогам Кельна напоминает слалом» в ответ на известие, что на ремонт автомобильных дорог в Кельне в связи с дефицитом бюджета планируется только 5 млн евро вместо 10 млн евро, которые в начале XXI века ежегодно выделялись на обновление мостов и дорог (рис. 1–3). В настоящее время все улицы в центральных районах Кельна разбиты на платные стоянки и дополнительные огромные площадки с платными парковками. Старший бургомистр Кельна требует дополнительно установить плату за использование мостов через Рейн, которые тоже давно требуют ремонта, а в планах – перевод на полную самоокупаемость без дотаций из городского бюджета. Значит, будут расти стоимости: ежегодных налогов на автомобиль в зависимости от его мощности, топлива, контрольной проверки *TÜV Rheinland Group* – международный концерн, один из ведущих в мире по предоставлению независимых аудиторских услуг. Штаб-квартира компании расположена в Кельне. Компания имеет 500 представительств в 61 стране мира, и в Москве тоже. *TÜV Rheinland Group* работает с 1872 года по 32 направлениям коммерческой деятельности в рамках пяти подразделений, проводит инспекцию машин и оборудования, товаров и услуг, осуществляет тех-

нический надзор за проектами, ..... а в перспективе – переход на платные дороги.



Рис. 1. По отзывам Кельнских автомобилистов: «Движение по дорогам Кельна напоминает слалом»



Рис. 2. Один из железобетонных автомобильных мостов в Кельне



Рис. 3. Один из железобетонных пешеходных мостов в Кельне

Одной из проблем при ремонте и восстановлении дорог и мостов в Кельне является недостаточное предварительное изучение грунтов, что в отдельных случаях приводит к необходимости дополнительного усиления и соответственно к удорожанию и затягиванию ввода в эксплуатацию. Высокие цены и недостаток финансирования приводят к затяжным ремонтам, например ремонт моста на улице *Gleueler Strasse* в районе *Lindenthal* произведен значительно позже запланированного срока. Еще одна причина более чем полугодового удлинения срока ремонта являются «непредвиденные» строителями слабые грунты в основании моста (*Schlamm* – дословно: ил, грязь), что говорит о неквалифицированных инженерно-изыскательско-проектных работах. Разработанный отечественными учеными и проектировщиками СНиП 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений» и СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» успешно пригодились бы немецким строителям для ремонта этого моста в Кельне.

Итак, в России накоплен колоссальный и несравнимый ни с одной другой страной в остальном мире научный и производственный опыт проектирования и строительства дорог из железобетона в любых условиях на Земле: всеклиматическо-погодное строительство дорог

и мостов – это приоритет России! Учитывая положительный опыт и также отрицательные моменты строительства и эксплуатации автомобильных дорог в Германии, необходимо принять свои практические решения проблем.

В России при критических температурно-климатических условиях долговечные мосты и дороги строить можно успешно и высококачественно при температурах от +50 до –50 °С, и на вечной мерзлоте, применяя материалы и технологии, строго соответствующие нормативным отечественным стандартам, квалифицированно проектируя и подбирая составы укладываемых смесей, обеспечивая круглосуточный контроль качества, с учетом огромного многолетнего отечественного опыта, и без применения иностранных проектов-технологий-материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шестоперов, С. В. Опыт применения пластификаторов и пластифицированных цементов при производстве железобетонных изделий / С. В. Шестоперов (МАДИ), Б. Д. Тринкер (ВНИПИ Теплопроект) // Сб. трудов МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского «Пути снижения расхода цемента в промышленности железобетона». – М., 1970.
2. Тринкер, А. Б. (Гидроспецстрой) Надежность и Долговечность сооружений из монолитного железобетона / А. Б. Тринкер // Монтажные и специальные работы в строительстве. – М., 1992. – № 11. – С. 19–22.

УДК 666.97

*А. Б. Тринкер***ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – ПРИОРИТЕТ РОССИИ****Технологический центр восстановления & Консультации в достижении нововведений**

E-mail: alex47@yandex.ru

70-летний отечественный опыт технически, экономически и безопасного для обслуживающего персонала эффективного применения многотоннажных отходов производств: лигносульфонатов ЦБК, металлургии, химических, пищевых предприятий, с получением универсальной химической добавки, регулирующей и управляющей свойствами всех вяжущих. 55-летний опыт первого в мире применения в строительстве многофункциональной советской добавки-пластификатора СДБ, масштабно использованной при возведении высшей в мире Останкинской телебашни, в результате была получена тройная практическая прибыль, за счет получения высококачественного бетона, ресурсосбережения, экологии. В XXI веке Россия может стать источником-изготовителем нано-суперпластификаторов из отечественных лигносульфонатов для всего мира.

*Ключевые слова:* поверхностно-активные вещества ПАВ, экология, экономика, прибыль, техника безопасности, сверхдолговечный коррозионностойкий бетон, ресурсосбережение, малоэнергоемкая технология.

*A. B. Trinker***ECOLOGICAL RESOURCE-SAVING – A PRIORITY OF RUSSIA****Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation**

70 years' domestic experience technically, economically and effective application of large-tonnage waste of productions, safe for service personnel: lignosulfonate of pulp and paper mill, metallurgy, the chemical, food companies, with receiving the universal chemical additives regulating and operating properties of any all astringent. 55 years' experience of the first-ever application in construction of the SDB multipurpose Soviet additives- plasticizer, which is on a substantial scale used at construction of the Ostankino Television Tower, highest in the World, threefold practical profit has been as a result got, for the account: receiving high-branded concrete, resource-saving, ecology. In XXI a century Russia can become a source manufacturer of nano-supersofteners from domestic lignosulfonate for the whole World.

*Keywords:* surface-active substance, ecology, economy, profit, equipment of safety, superdurable corrosion-resistant concrete, resource-saving, low-power-intensive technology.

В книге «Химия в строительстве» (Ф. М. Иванов, НИИЖБ Госстроя СССР, 1977 год) изложены варианты применения химической продукции в строительстве, однако не учтены важнейшие проблемы в экологии, ресурсосбережении, использовании – утилизации отходов промышленности, экономике и технике безопасности.

Вспомним отечественную историю развития строительства и химии.

Первый цементный завод (Щуровский) был запущен в 1920 году знаменитым впоследствии д-ром техн. наук В. Н. Юнгом (1883–1955), заведующим кафедрой Менделеевского института. Потом В. Н. Юнг создавал новые виды цементов. За плодотворную работу правительство неоднократно награждало ученого орденом Ленина и Трудового Красного Знамени, Сталинской премией в 1949 году, медалью «За оборону Москвы».

Годы первых Пятилеток (1928–1940) высоко подняли строительную и химическую науки СССР, вначале были созданы новейшие центры науки: НИИЖБ Госстроя СССР и ГИАП Мин-

химпрома СССР, автор данной статьи А. Б. Тринкер работал в этих огромных научно-производственных НПО – кластерах, включавших тысячи ученых и производителей, и заводы, производящие оборудование и достаточное количество необходимых материалов и изделий, например: Днепропетровский, Кемеровский, Новомосковский, Воскресенский, Новгородский, Чирчикский комбинаты, комплекс Уральских заводов – первенцы советской индустриализации 1928–1930-х годов, которые в период Великой Отечественной войны обеспечивали страну всем необходимым.

Необходимо сказать, что химические комбинаты всего мира давно изготавливают продукцию двойного, и тройного назначения.

В СССР в первые Пятилетки были построены химические комбинаты значительно большей мощности и производительности чем в Германии, например знаменитый *Bayer* около города *Köln* имеет один филиал *Leverkusen*, другой *Dormagen*, производящие в настоящее время силиконы, лекарства, удобрения, пестици-

ды, пластмассы, смолы, краски. Но заводы в Германии в несколько раз меньше по объемам производства, чем любой из перечисленных выше химкомбинатов в СССР. В Кельне есть и другие компактные химические заводы: *Höchst GmbH*, *Wacker Chemie AG*, *Carbosulf Chemische Werke GmbH*, входившие во времена 3-го рейха в состав концерна *I.G. Farbenindustrie AG*, и производивший известный отравляющий газ «Циклон-Б».

Советский Академик П. А. Ребиндер (1898–1972) крупнейший в мире физико-химик, открытие им в 1928 году эффекта адсорбционного понижения прочности твердых тел названное «Эффектом Ребиндера», присутствующего в XXI веке в химических учебниках всего мира, положило начало новой науке: физико-химической механике, а его изобретения по коллоидной химии сегодня назвали «нано-технологией». Изобретение 1930-х годов повторно «изобрели» в конце XX века!

Модернизация в строительном производстве 1980 годы была достигнута путем почти 95 % химизации всей технологии цементов и бетонов. Всепогодное и круглогодичное строительство в критических климатических условиях СССР на вечной мерзлоте при температурах  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и в южных районах с особо жарким климатом, при температурах  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , также самых высотных на Земле железобетонных сооружений было бы невозможно без применения химических добавок для цементов и бетонов из лигносульфонатов – многотоннажных отходов ЦБК (целлюлозно-бумажных комбинатов). ПАВ (пластификаторы) начали свое существование 70 лет назад в 1947 году в лаборатории канд. техн. наук Б. Д. Тринкера (1914–2004), который объездил весь Советский Союз, построил тысячи уникальных и специальных сооружений.

Лигносальфонаты технические для строительства – самое универсальное, безвредное и доступное вещество, улучшающее текучесть и реологические свойства, повышающее прочность, долговечность и износостойкость, которое снижает восприимчивость к солевой агрессии и температурным колебаниям, применяется при производстве цемента, гипса, бетона, кирпича, керамзита, керамических изделий, ДСП, клеев и смол, красителей и пигментов, при экструзии повышается скорость производства изделий.

70 лет назад в СССР была начата «Всемирная эра химизации строительства», из особо прочного, коррозионно-стойкого и сверх-долговечного Бетона были построены: электростанции (фото 1), химические и металлургические

комбинаты, специальные сооружения, жилые дома из монолитного и сборного бетона, потом в XXI веке и за границей тоже начали строительство небоскребов из железобетона.

Возведенные сооружения вошли в «Книгу Рекордов Гиннеса»: Останкинская телебашня высотой 540 метров, построенная в рекордно-короткие сроки (1963–1967) и до сих пор самый высокий и самый Северный Гигант в мире, дымовая труба на Экибастузской ГРЭС № 2 высотой 420 метров, выше которой нет на Земле, и многие другие.

В XX веке человечество терпело многомиллиардные убытки от всех видов коррозии, в связи с недолговечностью бетона в атмосферных и агрессивных средах, однако грамотное применение химических добавок обеспечило 100 % первичную защиту конструкций и сооружений от коррозии. Научная система особотонкого дисперсного измельчения материалов Академика П. А. Ребиндера была успешно продолжена и модернизирована его учеником в коллоидной химии Б. Д. Тринкером, который впервые изучил и применил в 1950-е годы химические добавки в микродозах. В 1970-е годы он добился практической наноиндустрии при химизации строительства, используя отходы производств, так как в основе теории влияния ПАВ является химическое диспергирование и пептизация флокул цемента, с уменьшением В/Ц.

В результате канд. техн. наук Б. Д. Тринкер достиг многофункционального практического эффекта при грамотном применении химических добавок из многотоннажных отходов ЦБК и различных производств, решая одновременно несколько проблем в строительстве и эксплуатации конструкций и сооружений:

- 1) управлением и регулированием структурой и свойствами бетона;
- 2) надежной первичной защитой бетона от коррозии, получением всепогодного универсального бетона;
- 3) литьевой, безвибрационной технологии и вечного бетона не требующего покраски, то есть без вторичной защиты от коррозии;
- 4) значительной суммарной экономией за счет длительного безремонтного срока эксплуатации сооружений и экономии цемента;
- 5) повышением жаростойкости бетона;
- 6) безопасностью производства химических добавок и их применения;
- 7) утилизацией отходов по малоэнергоёмкой технологии, сохранением экологии-биосферы.



Фото 1. Возведение уникального инженерного сооружения дымовой трубы высотой 330 метров на Экибастузской ГРЭС № 1, в скользящей опалубке разработанной В. О. Гидроспецстрой (главный конструктор Марина Матвеевна Тринкер), осуществлено с применением СДБ и достигнуты самые высокие темпы и качество. Впервые в мире строительство уникального сооружения происходило круглогодично: летом 1978 года при температуре плюс 55 градусов, зимой 1978/1979 при температуре минус 40 градусов Цельсия. Автор технологии и бетона А. Б. Тринкер



Фото 2. Одно из уникальных высотных сооружений энергетической системы страны, построенное с ПАВ, особотонкостенная оболочка градирни рассчитана на 100 лет работы при градиенте температур: внутри плюс 40–60 градусов, снаружи от минус 50 до плюс 50 градусов Цельсия, по погоде. Электроэнергию и тепло дает ТЭЦ-25 Мосэнерго, справа главный технолог Минэнерго СССР А. Б. Тринкер, слева директор станции, 1977 год

Необходимо уточнить, все высотные сооружения построенные из металла (Эйфелева башня в Париже, Шуховская башня в Москве) красят, а все небоскребы защищают свое бетонное ядро жесткости металлом-стеклом-силиконом, однако железобетонный ствол Останкинской телебашни никогда не красили, такой вечный отечественный бетон.

Впервые в мировой истории опыт сверхвысотного строительства был получен в СССР при возведении Останкинской телебашни высотой 540 метров, самого высокого до сих пор самого северного в мире сооружения, а все технологические подготовительные мероприятия были проведены при строительстве в 1956–1963 годах на первых дымовых трубах высотой 250 и 320 метров на Запорожской и Угледорской ГРЭС. Весь комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выполнил ученый канд. техн. наук Б. Д. Тринкер, а в 1960 году (через 5 лет после смерти д-ра техн. наук В. Н. Юнга) по итогам своих работ опубликовал книгу «Поверхностно-активные гидрофильные вещества и электролиты в бетонах», которая прорубила широкую дорогу массовому применению многотоннажных отходов производств целлюлозно-бумажных комбинатов ЦБК – лигносульфонатов технических ССБ-СДБ-ЛСТ-ЛТМ. Автор посвятил книгу своему Учителю, проявив высшее благородство!

В 2000 году во время пожара в течение двух суток на высотах 300–420 метров на Останкинской башне температура достигала 1000 градусов, но башня не рухнула, как предсказывали газеты ФРГ, хотя портландский цемент нежаростойкий. Произошло чудо благодаря научно-техническому пророчеству автора вечного бетона.

\*Цитата из книги д-ра техн. наук К. Д. Некрасова (НИИЖБ Госстроя СССР) «Жаростойкие бетоны», 1957 года: «Бетон на портландском цементе при температуре выше 300 градусов распадается на составляющие минералы, арматура, расширяясь, неуправляемо деформируется, бетон рассыпается в прах...». Такое должно было случиться, но помешал творческий гений автора Вечного Бетона Останкино.

Наперекор традиционной науке был создан Вечный Бетон с Отечественными химическими пластифицирующими добавками ССБ-СДБ-ЛСТ-ЛТМ на основе многотоннажных отходов производств: лигносульфонатов ЦБК, металлургических и химических комбинатов,

В статье д-ра техн. наук Т. В. Кузнецовой (РХТУ им. Д. И. Менделеева) подтверждается,

что даже бетон на высокоалюминатном, то есть жаростойком (содержание  $Al_2O_3$  60–70 %) цементе значительно уменьшает свою прочность при температурах выше 600 градусов, а еще в 1950-е годы Б. Д. Тринкер доказал необходимость применения для подобных уникальных высотных и специальных сооружений низкоалюминатных ( $Al_2O_3$  не более 8 %) или сульфатостойких (содержание  $Al_2O_3$  не более 5 %) цементов.

Необходимо отметить: известная катастрофа моста 14 августа 2018 в итальянской Генуе с человеческими жертвами произошла в результате инженерной неграмотности проектировщиков моста, коррозия которого вызвала разрушение, причем это произошла в теплом климате Италии, без стихийных бедствий, без ураганных ветров и без пожара на космической высоте – которые успешно выдержал вечный бетон Останкинской телебашни в 2000 году!

Сегодня в период 50-летнего юбилея, доказавшего надежность отечественной технологии бетонов, можно надстроить антенну всего на 20 метров, и Останкинская Царь-Башня станет вторым по высоте Гигантом на Земле по классификации «THE WORLD FEDERATION OF GREAT TOWERS» («Всемирной федерации высочайших башен»).

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) из многотоннажных отходов ЦБК, лигносульфонатов технических (лигнинов), то есть отечественные химические многофункциональные добавки для цементов и бетонов в последние годы в России были дополнительно исследованы и практически подтверждены их универсальность, стабильность и эффективность при применении. Причем лигносульфонаты технические можно успешно и прибыльно использовать при производстве цементов, в монолитном и сборном строительстве из тяжелого и легкого бетона, производстве кирпичей, керамики, керамзита, практически для всех видов вяжущих. В настоящее время есть возможность оснастить отечественные лаборатории современным оборудованием, например, на основе SIMS: анализатор-масс-спектрометр решает многие проблемы, недоступные ученым XX века.

В XXI веке в России с сожалением констатируем факт отсутствия книг и мемориалов про всемирные достижения отечественных ученых, создавших основы технологии бетонов будущего для всего мира и построивших самые уникальные сооружения из железобетона одновременно с улучшением экологии страны, но

наоборот на западе почти ежегодно (!) публикуют толстые фолианты о «достижениях» нобелевского лауреата 1918 года изобретателя самых первых в мире боевых отравляющих веществ Фрица Хабера (*Fritz Haber*, 1868–1934), который впервые в мире применил их (участвуя лично) в 1915 году против людей в Первой мировой войне. Сегодня в ФРГ работают: институт, названный его именем *Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft* в Берлине и Мюнхене, и его заводы в Кельне, ФРГ.

Всемирные законы, открытые впервые 90 лет назад отечественным ученым П. А. Ребиндером, определенные тогда как физическая химия, но теперь их называют: *Interfase* – по-английски и *Schnittstelle* – по-немецки.

В продолжении развития высотного строительства, в Дубаи, ОАЭ, на берегу круглогодично и вечно теплого Персидского залива в 2010 году был построен самый высокий в мире небоскреб «Башня Халифа» (*Burj Khalifa in Dubai, U.A.E.*), высотой 828 метров. Проект американского архитектурного бюро строила южнокорейская фирма. В отчете фирмы указано: «Специально для «Бурдж-Халифа» была разработана особая марка бетона, которая выдерживает температуру до +50 °С. Бетонную смесь укладывали только ночью, в бетонную смесь добавляли лед», «строительство Бурдж-Халифа заняло 6 лет, чтобы закончить, используя 22 миллиона человеко-часов. Были наняты более чем 30 локальных подрядчиков и 12 000 рабочих из 100 стран».

Можно констатировать – нашли чем хвастать, и одновременно задать вопрос: «Где вы взяли лед при 50 градусах жары?». Надо сказать: самый «холодный» период в январе–феврале в Дубаи температура постоянная и не бывает ниже +16–20 °С, и влажность очень благоприятная для твердения бетона 90 %, а ровно 40 лет назад на возведении Экибастузской ГРЭС № 1 (фото 1) климат был катастрофический: летом +55 °С с 15–20 % (!) влажностью, что как насосом испаряет воду из бетона разрушая его, зимой –40 °С, со штормовыми ветрами, сносившими башенные краны. Однако мы построили дымовые трубы, вначале в 1979 году 330-метровую в скользящей опалубке, то есть круглосуточно (!), а в 1986 году мы построили 420-метровую, которая и сегодня в «*Guinness World Records*».

Применение даже последних «достижений» XXI века в строительстве (суперпластификаторы «очередного» придуманного поколения, лед в бетонной смеси, бетонирование только ночью

и только 2 раза в неделю) и логистики (миксеры, бетононасосы) не гарантировало темпы (сроки) строительства и качество бетона иностранных фирм.

Последние годы в Россию интенсивно импортируют много химических добавок (суперпластификаторы, гиперпластификаторы, и т. д. и т. п.), которые являются продуктами химических заводов иностранных фирм, и изготовлены из полимеров и сложных органических соединений (нафталины, меламины, формальдегиды, карбоксилаты, полиарилы, фенилы) соответственно они на порядки дороже (!) отечественных пластификаторов, имеют ограничения и вредны (!) для людей при их использовании. При этом отечественные материалы уже 70 лет успешно применяются без вредных последствий, а иностранные материалы привозят в Россию, чтобы испытать на людях, кроме того, отечественные материалы все имеют ТУ (технические условия), согласованные санитарно-эпидемиологическими службами и давно раскрыт точный химический состав компонентов, а иностранные – все держатся в тайне. Еще надо учитывать, что потребители иностранных технологий и материалов дают работу иностранным ученым, инженерам, рабочим.

2017 год был объявлен «Годом экологии в России», в числе приоритетных задач: «Совершенствование управления отходами», следовательно, необходимо создавать безотходные и замкнутые технологии, которые начал разрабатывать 70 лет назад ученый канд. техн. наук Б. Д. Тринкер.

Россия с XX века является подтвержденным законодателем мод и ведущей в мире по технологии бетонов и всепогодного строительства в реальном настоящем катастрофическом климате при температурах от плюс 55 градусов до минус 50 градусов Цельсия, и на вечной мерзлоте с применением многотоннажных отходов производств. Научно-практические достижения отечественных ученых XX века по производству вечного бетона одновременно успешны по экологии, экономии, технике безопасности, ресурсосбережению, мало-энергоёмкие. Ученым современной России необходимо их совершенствовать и применять.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тринкер, Б. Д. Авторское свидетельство на изобретение «Способ применения пластификатора ПАВ для бетонов и цементного клинкера» / Б. Д. Тринкер // № 87043, 24.12.1948, Москва.
2. Тринкер, А. Б. Единая система скоростного бетонирования высотных сооружений / Б. Д. Тринкер // Бетон и железобетон. – 1983. – № 12. – С. 20–21.

УДК 666.97

*А. Б. Тринкер***ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ЭЛЕКТРОЛИТЫ В БЕТОНАХ.  
ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ. ПАВ И ЭРЗАТЦЫ****Технологический центр восстановления & Консультации в достижении нововведений**

E-mail: alex47@yandex.ru

70 лет назад началось производство и применение первого в мире пластификатора (поверхностно-активное вещество ПАВ) для бетона названное ССБ (сульфитно-спиртовая барда, сульфитный щелок), отход производства целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК), затем комплексных добавок: ССБ и электролитов. В 1969 году был применен модифицированный пластификатор СДБ (сульфитно-дрожжевая бражка). ПАВ на основе лигносульфонатов – добавки самые дешевые, универсальные, безвредные, всепогодные, пригодны для всех видов цементов, для монолитного и сборного строительства из раствора и бетона, для тяжелого и легкого бетона и железобетона без ограничений, в диапазоне применения от жестких смесей 20–60 секунд до литых 24–26 см осадки стандартного конуса, одновременно повышают: прочность, плотность, морозостойкость, водонепроницаемость, долговечность, защищают от коррозии, и экономят цемент и топливо, а также улучшают экологию и безопасность регионов, были проверены временем в течение 70 лет. В XXI веке Россия может выгодно экспортировать лигносульфонаты во все страны мира.

*Ключевые слова:* поверхностно-активное вещество ПАВ, пластификатор для цемента и бетона, лигносульфонаты технические, экология, энергосбережение, экономика; полимеры, формальдегиды, нафталины, меламины, фенилы.

*A. B. Trinker***SUPERFICIALLY ACTIVE SUBSTANCES AND ELECTROLYTES IN CONCRETE.  
HISTORY OF CREATION AND APPLICATION. S.A.S. AND ERSATZES****Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation**

70 years ago in the USSR production and use of the first-ever softener (surfactant surfactant) for concrete called CoB (sulphitic and alcohol the bard, sulphitic chinks), withdrawal of production of the pulp and paper mills (PPM), then complex additives has begun: CoB and electrolytes. In 1969 the modified softener SBDB (sulphitic and barmy distiller's beer) has been applied. Surfactant on the basis of lignosulfonate – additives the cheapest, universal, harmless, all-weather, are suitable for all types of cements, for monolithic and combined construction from solution and concrete, for heavy and light concrete and reinforced concrete without restrictions, in the application range from rigid mixes of 20–60 seconds to cast 24–26 cm of draft of a standard cone, at the same time raise: durability, density, frost resistance, water tightness, durability, protect from corrosion, and save cement and fuel and also improve Ecology and safety of regions. Have successfully been checked by Time within 70 years. In XXI a century Russia can favourably export lignosulfonate to all countries of the world.

*Keywords:* surfactant surfactant, softener for cement and concrete, lignosulfonate technical, ecology, energy saving, economy; polymers, formaldehydes, naftalina, melamines, fenila.

До 1963 года все высотные сооружения во всем Мире строили только из металлоконструкций: башня Эйфеля, башня Шухова, стандартные типовые небоскребы Нью-Йорка. Однако архитектурно-однотипные и стандартизованные металлоконструкции, высокая их стоимость и жаро-нестойкость, обязательное регулярное нанесение защитного от коррозии покрытия (Эйфелеву башню красят каждые 7–9 лет) значительно удорожали железные сооружения.

В 1958 году в Москве на Воробьевых горах (рядом с МГУ) был построен метромост, бетон которого сразу начал разваливаться, его ремонт был самый длительный и самый дорогостоящий в истории строительства (завершен только в 2003 году), с возведением второго-дублирующего обводного моста и последующей его раз-

боркой. Поэтому в 1963 году все 500 строителей-ученых нашей страны категорически отказались заниматься проектированием бетона для самого высокого в мире и самого первого в мире сооружения из железобетона – Останкинской телебашни.

После успешного и скоростного возведения в 1967 году, Останкинское железобетонное сооружение открыло эпоху применения Бетона для небоскребов во всем мире.

Примером всем служит уникальный Бетон Останкинской телебашни: особоморозостойкий, сверхпрочный, супердолговечный, антикавитационный, водонепроницаемый под давлением, жаростойкий, который противостоит – морозу, солнцу, ветру, дождям, засухам, и дополнительно непредвиденному пожару с температурой

1000 градусов Цельсия (в 2000 году) на космической высоте 300–420 метров. Огромные габариты железобетонного ствола башни и постоянные штормовые и ураганные ветровые нагрузки это опасный фактор риска при возведении и эксплуатации подобных сооружений, однако все эти проблемы были предусмотрены заранее, и успешно решены отечественными строителями: применением химических добавок пластификаторов из лигносульфонатов, проектированием бетона по специальной методике и непрерывным контролем качества (мониторингом) на всех постах.

Удивительны три факта:

1. Полное отсутствие иностранных «специалистов», иностранных технологий, механизмов и материалов, при проектировании и строительстве,

2. Отсутствие заборов вокруг строительства в 1963–1967 гг.

3. Поверхность бетона Останкинской башни никогда не красили!

Показателем уникальной прочности бетона Останкино с лигносульфонатами является «натурное испытание» в 1967 году: при монтаже 20-тонных царг стальной антенны, одна царга вывернулась с 460-метровой высоты, зацепив по бетонной опоре, царга ушла в землю. Никто не пострадал, на поверхности бетона опоры осталась царапина, которую вскоре смыло дождями.

Комплекс научно-исследовательских и опытных работ выполнил Б. Д. Тринкер с 1947 года на строительстве морских и океанских портов в Находке, Калининграде, Севастополе, то есть в разных климатических условиях и при различных концентрациях агрессивных соленых сред, показал эффективность и долговечность бетонов с лигносульфонатами. В 1951 году утверждена первая Инструкция по применению первого поверхностно-активного вещества ПАВ – ССБ из лигносульфонатов, по которой было изготовлено 2 миллиона кубометров бетона. Следующие поколения очищенных от примесей лигносульфонатов: СДБ (1970 год), ЛСТ (1980 год), и модифицированного суперпластификатора ЛТМ (1985 год), созданных во ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР позволили обеспечить почти 95 % химизацию строительства в СССР.

В 1974 году в НИИЖБ Госстроя СССР впервые привезли из Германии (университет Гейдельберг) «Мельмент», названный «супер-пластификатор», на основе нафталино-формальдегидных полимеров. Полученный в результате

массспектрометрии состав позволил сделать «С-3» – аналог «Мельмента» с добавкой СДБ. В 1980 году из Японии привезли «Майти», основа меламино-формальдегиды, который потом превратили во ВНИИЖелезобетоне в «10-03». В начале XXI века поток заграничных «суперпластификаторов» на основе нафталинов, меламинов, формальдегидов, фенилов, карбоксилатов, и многих других вредных для здоровья веществ увеличился. Отличия в стоимости: все иностранные на несколько порядков (!) дороже отечественных лигносульфонатов.

В «Списке первоисточников» полный комплекс в течении 70 лет всех научно-исследовательских и полно-масштабных производственных работ по применению ПАВ из лигносульфонатов во всех строительных Министерствах и ведомствах СССР: Госстрой, Минэнерго, Минмонтажспецстрой, Минсредмаш, Минпромстрой, Минтяжстрой, Минхимпром, Главмоспромстройматериалы, Главмосстрой (ДСК), Главмосинжстрой, Метрострой, при строительстве высотных, подземных (шахты калийных месторождений Урала, буронабивные сваи Загорской ГАЭС, тоннели метро), подводных, специальных сооружений, в жилищном строительстве, для монолитных и сборных конструкций и сооружений, из бетона тяжелого, легкого, пенобетона, полимерсиликатного, для всех технологий (агрегатно-поточные, конвейерные, каскетные, торкрет, набрызг-бетон), во всем диапазоне температур ТВО (от сокращенных 4–5 часов до стандартных) и всех технологиях прогрева и обогрева, при всех подвижностях бетонной смеси (от литой 24–26 см осадки стандартного конуса до жесткости 40–60 с.), для всепогодного строительства (от –55 °С до +55 °С). Причем одновременно с улучшением экологии регионов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 87043. Способ приготовления пластификатора для бетонов и катализатора для размола цементного клинкера., Заявлено 24.12.1948. Опубликовано: 01.01.1950 / Б. Д. Тринкер.
2. Тринкер, Б. Д. Из опыта производства и применения пластичного шлакового цемента. М-во строительства предприятий машиностроения СССР. Техн. упр. НИИ по строительству, ОНТИ / Б. Д. Тринкер. – М.: Машстройиздат, 1950. – 12 с.
3. Шестоперов, С. В. Инструкция по изготовлению бетона с применением пластифицированного цемента или обычного цемента с добавкой на месте работ концентратов сульфитно-спиртовой барды ССБ, ИМ-202-51, Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства / С. В. Шестоперов, В. В. Стольников,

- Ц. Г. Гинзбург, Б. Д. Тринкер; под ред. Б. Г. Скрамтаева. – М.: Гос. издательство литературы по строительству и архитектуре, 1951. – 18 с.
4. Тринкер, Б. Д. Применение пластифицированного цемента и пластифицирующих добавок к бетону / Б. Д. Тринкер // Минстрой машиностроения СССР, НИИС, гос. издательство по строительству и архитектуре. – Москва – Ленинград, 1952. – 60 с.
5. Тринкер, Б. Д. Влияние поверхностноактивных веществ и электролитов на процессы твердения и морозостойкость бетона: автореф. диссертации, научный руководитель профессор, д-р техн. наук В. Н. Юнг. – МХТИ им. Д. И. Менделеева, Москва, 1955. – 22 с.
6. Тринкер, Б. Д. Руководство по проектированию и подбору состава гидротехнического и обычного бетона; Министерство строительства РСФСР, Техническое управление, НИИС. – Москва, 1957. – 52 с.
7. Тринкер, Б. Д. Нарастание во времени прочности растворов и бетонов при добавке поверхностно-активных веществ и электролитов, «Исследования. Бетоны и растворы», сборник Трудов. – Москва, Госстройиздат, 1957. – С. 73–112.
8. Юнг, В. Н. Поверхностно-активные гидрофильные вещества и электролиты в бетонах / В. Н. Юнг, Б. Д. Тринкер; под ред. чл.-кор. Академии строительства и архитектуры СССР Ю. М. Бутта, Министерство строительства РСФСР, НИИС. – Москва, Госстройиздат, 1960. – 166 с.
9. Тринкер, Б. Д. Указания по выбору состава бетона и бетонированию железобетонной башни Московской радиопередающей станции телевидения высотой 520 м, МСН 49-64 / Б. Д. Тринкер, И. Б. Заседателев // ГМСС СССР, Утверждено 28/V 1964 г. / Гос. производ. комитет по монтажным и специальным строительным работам СССР. – Москва, 1963. – 60 с.
10. Тринкер, Б. Д. ВНИПИ Теплопроект. Вопросы повышения долговечности железобетонных оболочек башенных градирен, «Труды координационных совещаний по гидротехнике» / Б. Д. Тринкер // Минэнерго СССР, Главгидротехпроект, ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – Ленинград, 1968. – Вып. 44. – С. 221–232.
11. Медведев, В. М. Указания по применению бетона с добавкой концентратов сульфитно-дрожжевой бражки СДБ», СН 406-70 / В. М. Медведев, Ф. М. Иванов, С. В. Шестоперов, Б. Д. Тринкер, В. В. Стольников, Ц. Г. Гинзбург, Ю. С. Малинин. – Москва: Стройиздат, 1970. – 18 с.
12. Шестоперов, С. В., Тринкер, Б. Д. Опыт применения пластификаторов и пластифицированных цементов при производстве сборных железобетонных изделий, «Пути снижения расхода цемента в промышленности сборного железобетона», МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1970, Москва.
13. Тринкер, Б. Д. Тепловая обработка изделий, изготавливаемых из пластифицированного бетона, «Тепловая обработка бетона» / Б. Д. Тринкер, Л. А. Феднер, Г. М. Тарнацкий. – Москва, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1973.
14. Тринкер, Б. Д. Химические добавки в бетон с целью экономии цемента и сокращения продолжительности тепловой обработки, «Промышленность сборного железобетона» / Б. Д. Тринкер. – Москва, 1975. – Вып. 3. – 50 с.
15. Тринкер, Б. Д. Руководство по применению химических добавок к бетону, НИИЖБ Госстроя СССР / Б. Д. Тринкер. – Москва: Стройиздат, 1975. – 66 с.
16. Тринкер, Б. Д. Эффективность применения химических добавок / Б. Д. Тринкер, Г. Н. Жиц, А. Б. Тринкер // Сб. тр. «Пути снижения материальных и трудовых затрат в промышленности сборного железобетона». – МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1976.
17. Тринкер, Б. Д. Химизация технологии бетона и железобетона» / Б. Д. Тринкер // Сб. тр. «Специальные бетоны и защита строительных конструкций от коррозии», ВНИПИ Теплопроект. – Москва, 1977. – Вып. 44.
18. Тринкер, Б. Д. Эффективность применения комплексных добавок из ПАВ и электролитов / Б. Д. Тринкер, Г. Н. Жиц, А. Б. Тринкер // Бетон и железобетон. – Москва, 1977. – № 10. – С. 12–13.
19. Иванов, Ф. М. Практический опыт и перспективы применения химических добавок для повышения качества бетона / Ф. М. Иванов, В. Б. Ратинов, Б. Д. Тринкер // Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции по бетону и железобетону. – Москва: Стройиздат, 1977.
20. Тринкер, Б. Д. Сравнительные исследования эффективности химических добавок, «Применение химических добавок в технологии бетона» / Б. Д. Тринкер; МДНТП. – Москва: Знание, 1980. – С. 81–89.
21. Чумаков, Ю. М. Влияние суперпластификаторов на свойства бетона / Ю. М. Чумаков, Б. Д. Тринкер, Г. Г. Демина, Г. Н. Маньковская, А. Б. Тринкер // Бетон и железобетон». – Москва, 1980. – № 10.
22. Тринкер, Б. Д. Руководство по применению химических добавок в бетоне / Б. Д. Тринкер, А. Б. Тринкер. – Москва: НИИЖБ Госстроя СССР, Стройиздат, 1981. – 80 с.
23. Тринкер, Б. Д. Теоретические и экспериментальные исследования влияния поверхностно-активных веществ и электролитов на свойства бетона / Б. Д. Тринкер // Сб. тр. «Конструкция и строительство специальных сооружений»; Труды ВНИПИ Теплопроект. – Москва, 1982.
24. Тринкер, А. Б. Применение суперпластификаторов для приготовления бетона специальных высотных сооружений возводимых в скользящей опалубке / А. Б. Тринкер // Строительство Тепловых электростанций. – Москва, 1982. – № 10. – С. 6–9.
25. Тринкер, А. Б. Опыт применения суперпластификаторов / А. Б. Тринкер // Строительство Атомных электростанций. – Москва, 1983. – № 2. – С. 14–17.
26. Тринкер, А. Б. Применение Единой Системы Бетонирования высотных дымовых труб / А. Б. Тринкер // Тезисы докладов Всесоюзной Конференции «Современные проблемы разработки, проектирования, возведения и эксплуатации монолитных железобетонных труб»; ВДНХ СССР. – 1983. – С. 22–25.
26. Тринкер, А. Б. Единая система скоростного бетонирования высотных сооружений / А. Б. Тринкер // Бетон и железобетон. – Москва, 1983. – № 12. – С. 20–21.
27. Патуроев, В. В. Рекомендации по изготовлению и применению изделий и конструкций из полимерсиликатного бетона, НИИЖБ Госстроя СССР / В. В. Патуроев, Б. Д. Тринкер. – Москва: Стройиздат, 1985. – С. 1–44.
28. Тринкер, А. Б. Механизация производства бетонных работ и улучшение качества приготовления бетонных смесей / А. Б. Тринкер // Специальные строительные работы. – 1986. – № 1. – С. 10–13.
29. Тринкер, А. Б. Исследования свойств бетонов с добавками суперпластификаторов: модифицированных лигносульфонатов технических, «Специальные Бетоны и сооружения», сборник трудов ВНИПИ Теплопроект ММСС СССР, 1986. – С. 6–11.
30. Тринкер, Б. Д. Руководство по применению химических добавок к бетону при возведении специальных высотных и других сооружений и производстве сборных железобетонных изделий / Б. Д. Тринкер, Г. Г. Демина, Г. В. Лазутина, Г. Н. Жиц, А. Б. Тринкер // Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР,

Главтепломонтаж, Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт «Теплопроект». – Москва, 1987. – С. 1–61.

31. *Тринкер, Б. Д.* Рекомендации по применению суперпластификатора ЛТМ в бетоне и железобетоне / Б. Д. Тринкер, А. Б. Тринкер, Ю. Б. Чирков. – Москва: Госстрой СССР, ЦНИИОМТП, 1987. – С. 1–30.

32. *Тринкер, А. Б.* Технология применения суперпластификатора ЛТМ / А. Б. Тринкер // Промышленность строительных материалов Москвы, 1987. – № 3. – С. 9–11.

33. *Тринкер, А. Б.* Опыт применения супер-ЛТМ в промышленности Главмоспромстройматериалов / А. Б. Тринкер // Сб. тр. «Всесоюзная конференция по строительству в Казани», 1987.

34. *Тринкер, А. Б.* Уникальная по мощности установка, газета «Ударная стройка», Главмосстрой Мосстройкомитета, ДСК № 1, 2.03.1988. – С. 1.

35. *Тринкер, А. Б.* Опыт применения суперпластификатора при изготовлении строительных конструкций / А. Б. Тринкер // Специальные строительные работы, 1988. – № 7. – С. 7–12.

36. *Тринкер, Б. Д.* Опыт применения полифункционального пластификатора ЛТМ / Б. Д. Тринкер, Г. Д. Уздин, А. Б. Тринкер, Ю. Б. Чирков // Бетон и железобетон, 1989. – № 4. – С. 4–5.

37. *Тринкер, А. Б.* Расширение области применения добавки ЛТМ / А. Б. Тринкер // Промышленность строительных материалов Москвы, 1989. – № 3. – С. 14–17.

38. *Тринкер, Б. Д.* Полимерсиликатные бетоны для сборных и монолитных конструкций и сооружений / Б. Д. Тринкер, В. Н. Садакова, А. А. Кокин // Специальные строительные работы, 1990. – № 2. – С. 18–23.

39. *Тринкер, Б. Д.* Полимерцементный бетон – свойства и применение / Б. Д. Тринкер, Г. С. Кремнев, А. А. Луценко // Специальные строительные работы, 1990. – № 2. – С. 30–34.

40. *Тринкер, Б. Д.* Надежность и Долговечность высотных сооружений из монолитного железобетона / Б. Д. Тринкер, А. Б. Тринкер // Монтажные и специальные работы в строительстве, 1992. – № 11. – С. 19–22.

41. *Тринкер, А. Б.* Волшебная добавка ЛТМ / А. Б. Тринкер // Строительная газета, 1988. – № 295 (24.12.1988). – С. 2.

42. *Тринкер, А. Б.* Не ждать века грядущего / А. Б. Тринкер // Лесная промышленность, 1989 (16.12.1989). – С. 2.

43. *Тринкер, Б. Д.* Полимерцементный бетон – свойства и применение / Б. Д. Тринкер // Специальные строительные работы. – Москва: ММСС СССР, 1990. – № 2. – С. 30–34.

44. *Тринкер, А. Б.* Эффективные полифункциональные добавки на основе отходов производства для пластифицирования бетонов / А. Б. Тринкер // Специальные строительные бетоны. – 1992. – № 5. – С. 10–21.

45. *Тринкер, А. Б.* Экономия цемента в сборном и монолитном бетоне и железобетоне применение пластификаторов / А. Б. Тринкер // Строительные материалы. – 1992. – № 12. – С. 17–19.

46. *Тринкер, А. Б.* Проверена временем / А. Б. Тринкер // Строительная газета. – 2017 (10 ноября 2017). – № 44. – С. 11.

47. *Тринкер, А. Б.* Нанотехнология ПАВ / А. Б. Тринкер // научный интернет-журнал «Нанотехнологии в строительстве». – Москва, 2018. – № 1. – С. 91–104.

УДК 664.002.5:635.34

*М. Д. Романенко, А. Б. Голованчиков, Д. К. Азарян, Р. И. Аржуханов*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ КОЧЕРЫЖЕК КАПУСТЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: romanenko.mihail2009@yandex.ru

В работе представлена схема работоспособной установки, дан простой сравнительный анализ затрачиваемой мощности двух сверел для удаления кочерыжек капусты.

*Ключевые слова:* цилиндрическое пустотелое сверло, перьевое сверло, кочерыжка, кочан.

*M. D. Romanenko, A. B. Golovanchikov, D. K. Azaryan, R. I. Arzhuhanov*

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE CABBAGE STALKS REMOVING PROCESS

Volgograd State Technical University

There is presented unit scheme and also given the simple comparative analysis of the consumed power by two drills to remove cabbage stalks.

*Keywords:* cylindrical hollow drill, feather drill, cabbage stalk, cabbage head.

### Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из ножек 1, стола 2, соединенного с верхней частью несущей конструкции 7 встык, блока питания 4, раздвижных рельс 5, мультиметра 6, подвижной полки 14, на которой жестко закреп-

лен электродвигатель 15, к валу которого прикреплен патрон 13, в котором зажато перьевое или цилиндрическое сверло 11, выполненное в виде полой трубки 9 с режущими зубьями 8 на нижнем торце и щелевой прорезью 10, выполненной на боковой поверхности в верхней части полой трубки 5, напротив которой жестко

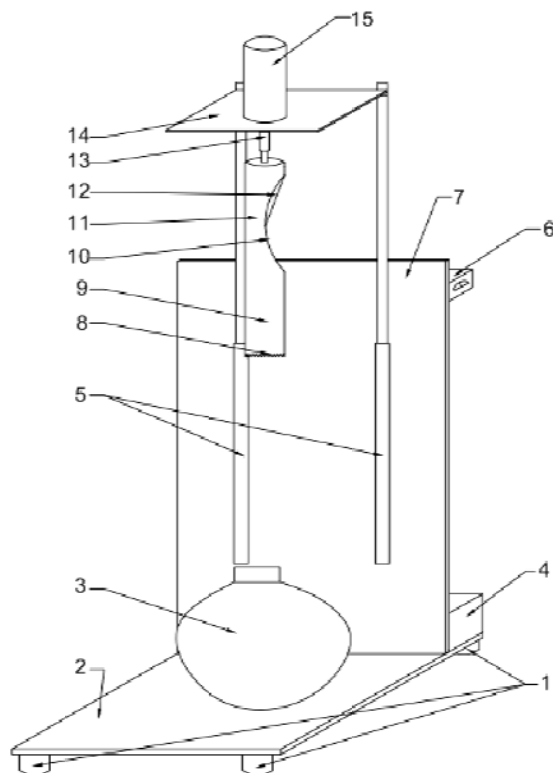


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
1 – ножки; 2 – стол; 3 – кочан капусты; 4 – блок питания; 5 – подвижные рельсы; 6 – мультиметр; 7 – несущая конструкция; 8 – нижний торец с режущими зубьями; 9 – полая трубка; 10 – щелевая прорезь; 11 – цилиндрическое сверло; 12 – стержень с диагональным срезом; 13 – патрон; 14 – подвижная полка; 15 – электродвигатель

закреплен стержень 12 с диагональным срезом и длиной, равной длине щелевой прорези 10.

#### Методика проведения эксперимента

На стол 2 поочередно укладываются кочаны капусты 3, зажимаются вручную и после включения электродвигателя 15 производится опускание подвижной полки 14. Под действием силы тяжести от собственного веса полки, электродвигателя с патроном и сверлом происходит высверливание кочерыжек. Каждая последующая кочерыжка проталкивает предыдущую по полой цилиндрической трубке вверх, где она направляется под определенным углом наружу через щелевую прорезь 10 с помощью диагонально срезанного стержня 12. Эксперимент проводился также и с перьевым сверлом с диаметром  $D = 50$  мм как и цилиндрическое сверло. Притом масса перьевого сверла составляла 0,076 кг, цилиндрического – 0,533 кг, масса полки – 2 кг, дополнительные грузы: первый – 1 кг, второй – 2 кг, третий – 3,5 кг, четвертый – 5 кг.

#### Результаты эксперимента

На рис. 2 представлены кривые зависимости мощности от усилия прижатия сверла к кочану капусты для цилиндрического сверла при среднем и максимальном положении регулятора выходной мощности.

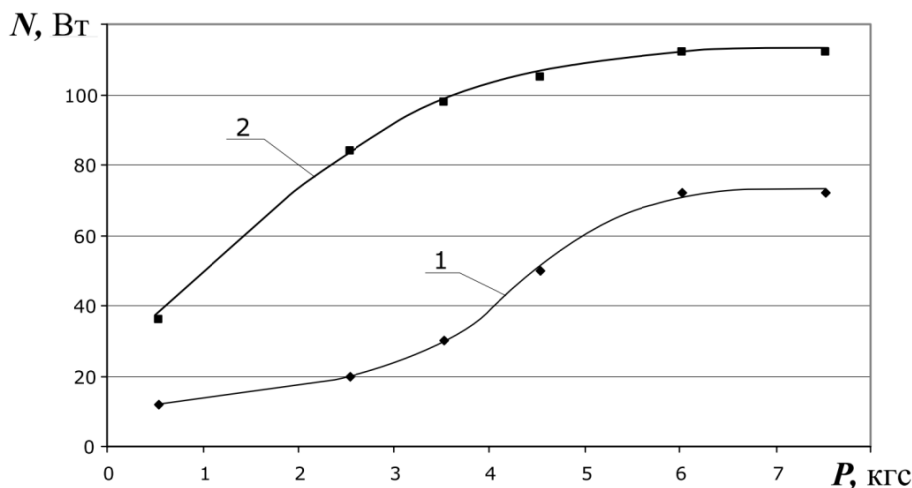


Рис. 2. Зависимость мощности вращения цилиндрического пустотелого сверла от силы прижатия к кочану капусты (1 – средняя мощность, 2 – максимальная мощность)

На рис. 3 представлены те же кривые, но для перьевого сверла.

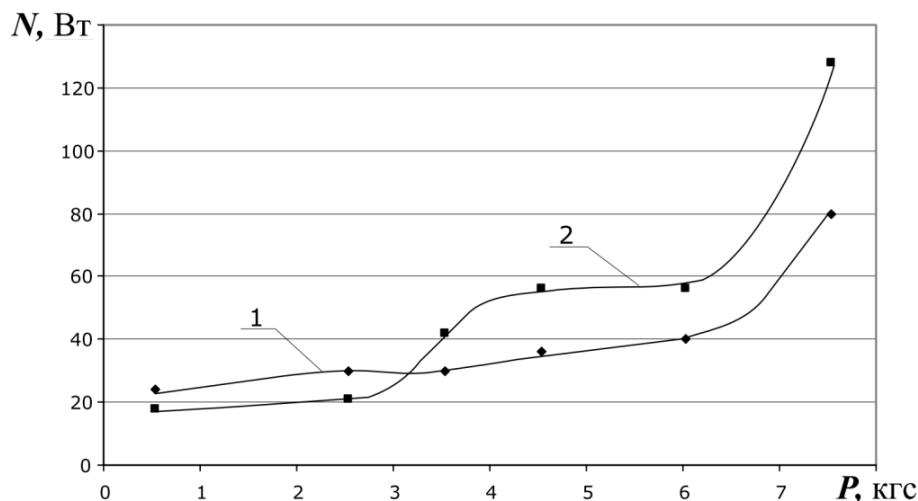


Рис. 3. Зависимость мощности вращения перьевого сверла диаметром 50 мм от силы прижатия к кочану капусты (1 – средняя мощность, 2 – максимальная мощность)

### Выводы

Как видно из графиков, представленных на рис. 2 и 3, предлагаемая конструкция цилиндрического пустотелого сверла при средней силе прижатия к кочану капусты увеличивает затраты мощности на вырезание кочерыжки по сравнению с затратами мощности обычного перьевого сверла. Это объясняется тем, что в цилиндрическом пустотелом сверле образуются две поверхности трения (наружная и внутренняя), которые сохраняются весь период работы. При сверлении обычным перьевым сверлом таких поверхностей трения сначала меньше, но при высоких нагрузках (сила прижатия) стружка «заклинивает» поверхность трения, что требует дополнительных затрат мощности (см. правые части рис. 2 и 3). Также после момента вхождения цилиндрического сверла на внутренней и наружных поверхностях преобладают касательные напряжения, которые многим меньше нормальных, возникающих на поверхности перьевого сверла. Основное преимуще-

ство цилиндрического пустотелого сверла, на которое получены патенты на полезные модели РФ, в том числе и на всю установку, заключается в получении целой кочерыжки [1–3]. Ранее в работе [4] были получены диаграммы статического резания слоев растительной массы для скользящей формы клина лезвия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П. м. 166433 Российская Федерация, МПК A23N15/00. Приспособление для удаления кочерыжек капусты / Голованчиков А. Б., Романенко М. Д., Романенко Д. И., Шишлянников В. В., Карев В. Н.; ВолгГТУ. – 2016.
2. П. м. 171857 Российская Федерация, МПК A23N15/00. Приспособление для удаления кочерыжек капусты / Голованчиков А. Б., Романенко М. Д., Романенко Д. И., Васильев П. С., Рева Л. С.; ВолгГТУ. – 2017.
3. П. м. 179489 Российская Федерация, МПК A23N15/00. Устройство для удаления кочерыжек капусты / Овчинников А. С., Голованчиков А. Б., Рева Л. С., Романенко М. Д., Романенко Д. И., Васильев П. С., Новиков А. Е., Лебедь Н. И.; ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. – 2018.
4. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – Москва: Машиностроение, 1975. – 311 с.

УДК 623.44

*Т. В. Копейкина***ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ****Камышинский технологический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: kopeikina.tania@yandex.ru

В настоящей статье приведена информация по анализу энергоэффективности силовых трансформаторов в энергосистеме страны. Рассматривается факт того, что в настоящее время обновление силовых трансформаторов происходит в основном только в случае их повреждения. Отмечается, что замена трансформаторов со значительными сроками эксплуатации позволит более равномерно распределять затраты на замену изношенного оборудования. Потери холостого хода (XX) трансформаторов составляют порядка 40 % всех потерь в распределительных сетях 1–20 кВ. Отражены основные ключевые мероприятия, влияющие на формирование оптимальной целевой программы замены силовых трансформаторов 6–10 кВ. Указаны основные направления, по которым целесообразно вести замену силовых трансформаторов. Сделан вывод о необходимости применения для повышения энергоэффективности силового трансформатора таких мер как: использование оптимального коэффициента нагрузки; увеличение коэффициента мощности; уменьшение мощности потерь холостого хода; уменьшение мощности потерь короткого замыкания. Также уделяется внимание применению магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов.

*Ключевые слова:* силовой трансформатор, потери, энергоэффективность, мощность, повышение, конструкция, замена, анализ, срок службы.

*T. V. Kopeikina***ENERGY EFFICIENCY OF POWER TRANSFORMERS****Kamyshin institute of technology (branch) of  
Volgograd State Technical University**

This article presents information on the analysis of efficiency of power transformers in the power system of the country. Discusses the fact that currently, the renewal of power transformers is mainly only in the case of damage. It is noted that the replacement of transformers with significant periods of operation will more evenly distribute the costs of replacing depreciated equipment. No-load losses (XX) transformers account for about 40 % of all losses in the distribution networks of 1–20 kV. Reflected the key events influencing the formation of optimal target replacement program of power transformers 6–10 kV. The main areas in which it is appropriate to replace power transformers. The conclusion about necessity of application to improve the energy efficiency of the power transformer such measures as: the use of optimal load factor; an increase in the power factor; reduce power loss idling; reducing the power losses of short circuit. Also focuses on the use of magnetic cores made of amorphous (nanocrystalline) alloys.

*Keywords:* power transformer, losses, efficiency, power, enhancement, design, replacement, analysis, service life.

В сетях 6–10 кВ около половины трансформаторов имеют срок эксплуатации свыше 30 лет. При этом основная часть трансформаторов имеет срок эксплуатации до 40 лет, что указывает на достаточно активное развитие электросетевого комплекса. Учитывая, что ориентировочный срок службы трансформатора распределительных сетей, после которого возрастает вероятность отказа, достигает 50 лет, можно предполагать, что число отказов трансформаторов через 15–25 лет увеличится.

Важно отметить, что в настоящее время замена силовых трансформаторов происходит чаще всего в случае их повреждения. То есть в будущем потребуется одновременно вложить значительные финансовые средства в замену трансформаторов из-за их массового повреждения по причине старения изоляции.

Замена трансформаторов со значительными сроками эксплуатации позволит более равномерно распределять затраты на замену изношенного оборудования. Следует отметить, что потери холостого хода (XX) трансформаторов составляют порядка 40 % всех потерь в распределительных сетях 1–20 кВ.

**Цель исследования**

Факт необходимости снижения затрат на потери XX привели к созданию трансформаторов с пониженными потерями XX, что позволяет снизить общий уровень потерь в распределительных сетях. Применение трансформаторов с сердечником из аморфной стали, как показывают расчеты, значительно снижают потери электроэнергии.

Таким образом, необходимо произвести анализ эффективности замены трансформаторов со

значительными сроками эксплуатации и увеличенными потерями XX на более современные. Дополнительный эффект в части энергосбережения достигается у трансформаторов 250–1000 кВА также за счет более низких потерь КЗ. Выравнивание нагрузки между трансформаторами позволит дополнительно снизить общие потери КЗ. Следует учесть, что большая часть трансформаторов, находящихся в длительной эксплуатации имеет негерметичную конструкцию, что приводит к увлажнению масла и обмоток трансформаторов, снижению электрической прочности изоляции и сокращению срока их службы, вызывает необходимость дополнительных затрат на техническое обслуживание трансформаторов.

#### Результаты исследования

Указанные особенности работы трансформаторов, влияющие на энергоэффективность распределительных сетей, указывает на необходимость особого внимания к вопросу замены силовых трансформаторов 6–10 кВ со значительным сроком эксплуатации, направленной на профилактику потерь и повышение эффективности планирования денежных средств на модернизацию оборудования предприятия.

Далее указаны необходимые действия по замене силовых трансформаторов 6–10 кВ:

1) анализ сроков эксплуатации силовых трансформаторов 6–10 кВ энергопредприятия. Построение прогноза роста потерь в распределительной сети на основании математической модели;

2) анализ существующей закупочной деятельности, направленной на обновление силовых трансформаторов 6–10 кВ: оценка приобретаемой продукции с точки зрения энергетической и экономической эффективности;

3) анализ режимов работы силовых трансформаторов 6–10 кВ: анализ загрузки трансформаторов, анализ распределения нагрузки между трансформаторами ТП;

4) анализ конструкции трансформаторов в части схем соединения обмоток;

5) анализ технического состояния силовых трансформаторов 6–10 кВ.

Замену трансформаторов целесообразно вести по следующим направлениям:

- в случае наличия положительного экономического эффекта выполнять замену на трансформаторы с пониженными потерями, приоритетно с сухой литой изоляцией;

- замену поврежденного трансформатора со значительной нагрузкой выполнять на новый трансформатор с улучшенными техническими характеристиками;

- в случае отсутствия экономического эффекта – выполнять замену поврежденных трансформаторов на ТП с низкой загруженностью на трансформаторы, бывшие в эксплуатации (из имеющегося парка оборудования), с невысокими потерями XX и большой нагрузкой. Вместо них устанавливать новые трансформаторы с улучшенными техническими характеристиками.

Реализация предложенного подхода позволит:

- провести анализ эффективности энергопроизводства с максимальным снижением потерь;

- сформировать целевую программу, направленную на эффективное планирование инвестиционной деятельности компании;

- повысить энергоэффективность производства, качество электроэнергии и надежность сети.

Сокращение потерь энергии единственный и оптимальный шаг в развитии энергокомплекса. Сокращения потерь электроэнергии в большей степени можно добиться за счет изменений в конструкции трансформатора и материалов, в нем используемых. Возможными способами повышения энергоэффективности силового трансформатора являются: оптимальный коэффициент нагрузки (отношение потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора); увеличение коэффициента мощности (соотношение активной и реактивной мощности потребителя); уменьшение мощности потерь холостого хода (мощность потерь в магнитопроводе трансформатора); уменьшение мощности потерь короткого замыкания (мощность потерь в обмотках трансформатора).

Распределительные трансформаторы мощностью 25–630 кВА напряжением 6–10 кВ – наиболее массовая серия производимых и эксплуатируемых трансформаторов в нашей стране и за рубежом.

Среди мер по модернизации сетей выделяется такой путь снижения затрат на производство и эксплуатацию распределительных трансформаторов, как применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с традиционными магнитопроводами из электротехнической стали [1].

Аморфный сплав – это определенный вид прецизионного сплава. Его отличительной характеристикой от сплавов кристаллической структуры, является целый комплекс физических и химических свойств.

Одно из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали – отсутствие периодичности в расположении атомов. Также эти сплавы отличаются от кристаллических сплавов большей устойчивостью к коррозии, они прочнее в несколько раз и обладают лучшей электромагнитной характеристикой.

В настоящее время для использования в электротехнических устройствах наибольшее распространение получили аморфные сплавы на основе металлов переходной группы железо – никель – кобальт (Fe; Ni; Co), взаимодействующие с металлоидами бор – кремний – углерод (B; Si; C), которые понижают температуру плавления и обеспечивают более легкое достижение температуры стеклования аморфного сплава при его охлаждении. В результате исчезают междоменные границы, что приводит к высокой твердости, прочности и коррозионной стойкости таких материалов.

Аморфное состояние достигается подбором химического состава сплава и использованием специальной технологии сверхбыстрого охлаждения со скоростью выше критической, для чего исходный расплав выливается на быстро вращающийся диск. При попадании на поверхность диска расплав охлаждается со скоростью около  $10^6$  K/c и превращается в ленту толщиной от 15 до 60 мкм, имеющей аморфную структуру, аналогичную структуре стекла. Лента навивается в кольцевые, U-образные сердечники или формируется в виде стержней. Технология навивки позволяет получать сердечники с диаметром от нескольких миллиметров до 500 мм.

Нагрузочные потери в зависимости от увеличения нагрузок вариативны, а потери холостого хода имеют постоянную величину. Таким образом, необходимо снижение потерь холостого хода.

Для снижения потерь холостого хода в магнитопроводах силовых трансформаторов применяют сложенную впятеро ленту из аморфного сплава типа  $Fe_{78}B_{13}Si_9$ . По данным американской компании Metglas, потери за год в силовых трансформаторах распределительных сетей, в которых используется магнитопровод из электротехнической стали, составляют около 8 % их закупочной стоимости. Кроме снижения

потерь в магнитопроводе из нанокристаллических сплавов, также уменьшается значение тока намагничивания. В результате при снижении потерь холостого хода и снижении тока намагничивания в трансформаторах:

1) снижается температура трансформатора и увеличивается его срок службы;

2) в несколько раз снижаются затраты при передаче электроэнергии потребителю;

3) имеет место общее сокращение энергопотребления в энергетике страны; и как результат – общее существенное снижение объема сжигания органического топлива для выработки электроэнергии и вредных выбросов в атмосферу.

Произведенный анализ показал, что трансформаторы с магнитопроводами из аморфных сплавов, более энергоэффективны, чем трансформаторы с традиционными магнитопроводами из электротехнических сталей.

### Выводы

Как известно, многие силовые трансформаторы работают с просроченным сроком эксплуатации. Другая основная причина необходимости их замены заключается в том, что они уже не удовлетворяют требованиям сегодняшнего дня по причине того, что их эксплуатация связана с большими потерями. В настоящее время существуют технические и технологические решения для того, чтобы устранить этот недостаток.

На смену трансформаторам из горячекатаной электротехнической стали пришли холоднокатаные. Вместо меди для обмоток стали часто использовать алюминий, способ шихтовки магнитопровода с «прямого стыка» изменился на «косой стык». Толстостенный бак с расширительным бачком уступает место герметичному тонкостенному гофробаку и т. д. Для определения состояния мощных силовых трансформаторов на них начали устанавливать устройства мониторинга, такие, как, например, хроматографы, всевозможные датчики давления и температуры и т. д. Потери энергии сегодня необходимо снижать до минимума.

Необходимо наращивать производство аморфных сплавов и осуществлять постепенный переход на применение их в магнитопроводах современных трансформаторов различного назначения.

Дальнейшее изучение свойств аморфных сплавов позволит определить целесообразность их применения не только в статических элек-

ромагнитных аппаратах, но и в электромагнитных системах электрических машин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Традиционные трансформаторы уступают место энергоэффективным / В. С. Галушак, Т. В. Копейкина,

А. Г. Сошинов, С. В. Хавроничев // Главный энергетик. – 2016. – № 5. – С. 27–32;

2. Современные тенденции применения аморфных сплавов в магнитопроводах силовых трансформаторов / С. В. Хавроничев, А. Г. Сошинов, В. С. Галушак, Т. В. Копейкина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12–4. – С. 607–610.

УДК 623.44

*Т. В. Копейкина*

### СТАТИЧЕСКИЕ ТИРИСТОРНЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

Камышинский технологический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета

E-mail: kopeikina.tania@yandex.ru

В настоящей статье приведена информация по опыту применения статических тиристорных компенсаторов реактивной мощности СТКРМ в энергосистемах России. Рассмотрено назначение и эффективность применения СТКРМ в зависимости от объекта установки. Детально анализируется опыт применения СТКРМ на примере подстанции 220 кВ «Афипская» (Краснодарский край). Отражен тот факт, что помимо обеспечения требований по основным показателям качества электроэнергии СТКРМ осуществляют разгрузку сетевых трансформаторов и питающих линий электропередачи от реактивной мощности и, тем самым, снижают в них величину действующего тока и активных потерь, что позволяет увеличить передаваемую активную мощность без установки нового оборудования. В выводе проведенных исследований оговаривается аналогия с охраной окружающей среды, так как СТКРМ являются своего рода «очистными системами» для энергетической среды, восстанавливая качество электроэнергии, испорченное потребителями, и снижая активные потери на ее передачу. Указан срок окупаемости СТКРМ, который в среднем составляет от 1 до 3 лет.

*Ключевые слова:* статический тиристорный компенсатор реактивной мощности, требования, качество, опыт, подстанция, система, снижение, стабилизация.

*T. V. Kopeikina*

### STATIC THYRISTOR COMPENSATORS OF REACTIVE POWER. THE APPLICATION EXPERIENCE

Kamyshin institute of technology (branch) of  
Volgograd State Technical University

This article presents information on the experience of the application of static thyristor compensators of reactive power in power systems STKRP Russia. Reviewed the purpose and efficacy of STKRP, depending on the object position. Details the experience of STKRP applications on the example of the substation 220 kV "afipskaya" (Krasnodar Krai). Reflects the fact that in addition to ensuring the requirements of the main indicators of power quality STKRP unload the network transformer and mains power from reactive power and thereby reduce them to the value of the effective current and resistive losses, which allows to increase the transmitted active power without the installation of new equipment. In conclusion of the conducted research about the analogy with the protection of the environment, because STKRP are a kind of "sewage treatment systems" for the energy environment, restoring the quality of power, spoiled consumers, and reducing the active losses in transmission. Specified payback period of STKRP, which on average is from 1 to 3 years.

*Keywords:* static thyristor compensator of reactive power, requirements, quality, experience, substation, system, reduction, stabilization.

#### Введение

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности СТКРМ являются одними из устройств, которые способны повысить эффективность работы электроэнергетической системы, а также снизить потери электроэнергии.

СТКРМ выпускаются в двух типах: для промышленных установок типа дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и тиристорных приводов прокатных станов и для высоковольтных линий электропередачи. Также есть специальное исполнение СТКРМ для применения на тя-

говых подстанциях электрофицированных железных дорог [1]. Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности СТКРМ предназначены для улучшения качества электрической энергии промышленных электросетей напряжением 6,3–10,5–35–110 кВ. Данное техническое предложение описывает систему статической компенсации реактивной мощности.

#### Цель исследования

Рассматриваемые компенсаторы осуществляют разгрузку трансформаторов, а также питающих линий электропередачи от реактивной мощности, что приводит к снижению в них величины действующего тока и активных потерь, тем самым увеличивается передаваемая активная мощность без установки нового оборудования. Этот фактор определяет основной экономический эффект от применения СТКРМ в России в настоящее время. Срок окупаемости СТКРМ составляет от 1 до 3 лет.

Таким образом, СТКРМ являются важным элементом для охраны безопасности энергетической среды, так как данное устройство восстанавливает качество электроэнергии, испорченное потребителями, и снижает активные потери на передачу электроэнергии [2].

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности являются одними из немногочисленных устройств, обеспечивающих повышение эффективности работы и энергосбережения систем передачи и распределения электрической энергии.

Эффективность применения СТКРМ, в зависимости от объекта установки, определяется реализацией следующих функций:

Для промышленных установок и тяговых подстанций железных дорог:

- снижение колебаний напряжения;
- повышение коэффициента мощности;
- балансирование нагрузки;
- снижение токов высших гармоник.

Для дуговых сталеплавильных печей:

- существенное снижение колебаний напряжения (фликера) в питающей сети;
- возможность подключения мощных печей к энергосистемам с низкой мощностью КЗ;
- повышение среднего коэффициента мощности;
- снижение токов высших гармоник, текущих в энергосистему;
- симметрирование токов, потребляемых из сети;

- стабилизация напряжения на шинах нагрузки;

- повышение производительности печи;
- снижение расхода электродов и футеровки.

Для линий электропередачи:

- повышение статической и динамической устойчивости передачи;
- снижение отклонений напряжения при больших возмущениях в системе;
- стабилизация напряжения;
- ограничение внутренних перенапряжений;
- увеличение передаточной способности электропередачи из-за улучшения устойчивости при большой передаваемой мощности;
- фильтрация токов высших гармоник.

Эффективность применения СТКРМ, в зависимости от объекта установки, определяется реализацией ими следующих функций:

- для промышленных установок и тяговых подстанций железных дорог;
- снижение колебаний напряжения;
- повышение коэффициента мощности;
- балансирование нагрузки;
- снижение токов высших гармоник;
- для дуговых сталеплавильных печей;
- существенное снижение колебаний напряжения (фликера) в питающей сети;
- возможность подключения мощных печей к энергосистемам с низкой мощностью КЗ;
- повышение среднего коэффициента мощности;
- снижение токов высших гармоник, текущих в энергосистему;
- симметрирование токов, потребляемых из сети;
- стабилизация напряжения на шинах нагрузки;

- повышение производительности печи;
- снижение расхода электродов и футеровки;
- для линий электропередачи;
- повышение статической и динамической устойчивости передачи;

- снижение отклонений напряжения при больших возмущениях в системе;
- стабилизация напряжения;
- ограничение внутренних перенапряжений;
- увеличение передаточной способности электропередачи из-за улучшения устойчивости при большой передаваемой мощности;
- фильтрация токов высших гармоник.

Статические конденсаторы получили на промышленных предприятиях наибольшее распространение как средство компенсации реак-

тивной мощности. Основными достоинствами статических конденсаторов для компенсации реактивной мощности являются:

- низкие потери активной мощности, около 0,3–0,45 кВт на 100 квар;
- отсутствие вращающихся частей и сравнительно низкая масса установки с конденсаторами, а в связи с этим отсутствие необходимости в фундаменте;
- более простая и дешевая эксплуатация, чем других компенсирующих устройств;
- возможность увеличения или уменьшения установленной мощности в зависимости от необходимой потребности;
- возможность установки статических конденсаторов в любой точке сети: у отдельных электроприемников, установка группами в цехах или крупными батареями.

Кроме того, выход из строя отдельного конденсатора, при надлежащей его защите, не отражается обычно на работе всей конденсаторной установки.

#### Результаты исследования

Реактивная мощность значительно ухудшает показатели работы энергосистемы. Наличие реактивной мощности является паразитным фактором, снижающим качество электроэнергии, неблагоприятным для всей сети в целом. В результате этого:

- появляются добавочные потери в проводниках;
- возникает большой перегрев проводов вследствие увеличения тока;
- снижается пропускная способность распределительной сети;
- напряжение отклоняется от номинального (падение напряжения происходит из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети).

Эти факторы являются основной причиной того, что требуется снижение доли реактивной мощности в сети [4].

Ни для кого не секрет, что эффективность экономики напрямую зависит от параметров работы распределительных электрических сетей среднего и низкого уровня напряжения. Электроснабжение различных потребителей осуществляется от этих сетей, протяженность которых составляет около 90 % сетей всех классов напряжения, а мощность распределительных установок, к которым присоединены непосредственно указанные потребители, составляет свыше 50 % установленной мощности на

трансформаторных подстанциях всех электропередающих организаций [5].

Для анализа эффективности применения рассматриваемых устройств необходимо исследовать опыт применения СТКРМ на конкретном примере. Данное СТКРМ применяется филиалом ОАО «ФСК ЕЭС» – Магистральные электрические сети (МЭС) Юга – на подстанции 220 кВ «Афипская» (Краснодарский край). В соответствии с требованиями Заказчика, система компенсации реактивной мощности мощностью 50 Мвар может быть установлена на подстанции 110 кВ через понижающий трансформатор 110/35 кВ. Мощность управляемых реакторов составит 50 Мвар, что позволит обеспечить диапазон регулирования индуктивной составляющей мощности от 0 до 50 Мвар. Конденсаторные батареи фильтра разделены на три канала, предназначенные для подавления 3, 5 и 7-й гармоник.

Величина емкостного сопротивления фильтров должна обеспечивать выполнение требований по коэффициенту мощности, величине флуктуаций напряжения и ограничению фликкера («мерцаний»)

Выбор номинального напряжения конденсаторов фильтров должен обеспечивать надежность и безопасность системы. Должны быть приняты во внимание следующие факторы:

- напряжение на шинах;
- возрастание напряжения на выводах конденсатора после последовательного подключения реакторов;
- напряжение, обусловленное токами гармоник, протекающих через конденсатор;
- вольтодобавку, вызванную колебаниями напряжения в энергосистеме;
- группа фильтров должна удовлетворять требованиям по фильтрации токов гармоник.

Комплект поставки включает в себя компоненты фильтров 3, 5 и 7-й гармоник с полной мощностью компенсации 50 Мвар. Кроме того, Заказчику поставляется 1 комплект ТСР, что позволит обеспечить компенсацию реактивной мощности в автоматическом режиме.

В процессе проектирования и изготовления:

- производится моделирование на ПК для определения оптимальной схемы и параметров фильтров;
- производится моделирование энергосистемы с выбранными фильтрами при различных условиях работы для исключения возможности возникновения резонансных явлений в системе.

Комплект поставки статического тиристорного компенсатора включает один трехфазный тиристорный регулятор на базе тиристорov с фазовым управлением. Регулятор состоит из трех алюминиевых каркасов с тиристорными модулями, сжатых с помощью опорных изоляторов.

Тиристорный модуль содержит:

- тиристоры;
- модули защиты;
- платы контроля состояния тиристорov;
- систему охлаждения модуля с использованием воды или тепловых труб;
- снабберные RC-цепи.

Цифровая система управления, построенная с использованием микропроцессоров, является своего рода «управляющим центром» всей установки. Все данные, собранные с силовых трансформаторов и трансформаторов тока, передаются в шкаф управления для последующей обработки. Результаты расчетов преобразуются в величину угла отпирания тиристорov, передаваемую в силовой шкаф. При этом все защиты системы также реализованы в шкафу управления. В нем же находятся все релейно-контактные схемы. Шкаф управления обеспечивает регулирование как в замкнутой, так и разомкнутой системе.

Система управления содержит:

- вспомогательное оборудование управления тиристорами;
- запуск СТКРМ;
- отключение СТКРМ, ручное или от цепей защиты.

Дискретные входы:

- сигналы с выключателей и разъединителей;
- сигналы от кнопок управления;
- сигналы от устройств защиты.

Выходы – контакты блокировки выключателей и разъединителей (система контролирует или инициирует коммутации контактов, связанные с функционированием защит). Комплектная система защиты обеспечиваются следующие виды защит:

- защита от перегрузки по току тиристорov и реакторов;
- время-токовая и максимально-токовая защиты для каждой из ветвей фильтра;
- защита от асимметрии (перекоса фаз) для каждой из ветвей фильтра;
- защита по оперативным напряжениям.

Таким образом, анализ применения СТКРМ показал, что в результате ввода в работу нового оборудования возросла надежность электро-

снабжения потребителей юго-западных районов Краснодарского края с населением более 600 тысяч человек. Подстанция 220 кВ «Афипская» трансформаторной мощностью 250 МВА введена в эксплуатацию в 1980 году. От ее стабильной работы зависит надежность электропитания крупных промышленных потребителей региона, среди которых ООО «Афипский нефтеперекачивающий завод», ОАО «Афипский хлебокомбинат», ООО «Северский молочный завод» и другие. Статический тиристорный компенсатор предназначен для регулирования уровня реактивной мощности батарей статических конденсаторов, установленных на подстанции «Афипская» в 2008 году. Используемые для этих целей ранее синхронные компенсаторы позволяли регулировать уровень реактивной мощности в двух позициях: ноль и максимальное значение. СТКРМ позволяют плавно регулировать уровень реактивной мощности, в зависимости от нагрузки в сети. За счет этого достигается высокая надежность работы энергосистемы, значительно экономится электроэнергия.

### Выводы

В настоящее время распределительным электрическим сетям напряжением 0,4–35 кВ уделяется недостаточное количество внимания, что является причиной неэффективной работы и замедляет развитие этих сетей, приводит к ускоренному их износу и существенным трудностям, относительно присоединения к ним новых мощностей потребителей.

Реализации проекта по реконструкции распределительных электрических сетей нуждается в серьезных научных исследованиях и проектных решениях, создании методических нормативных документов относительно внедрения новых подходов к построению электрических сетей 0,4–35 кВ, привлечении значительных материальных и человеческих ресурсов и, как следствие, финансовых инвестиций. Помимо обеспечения требований по основным показателям качества электроэнергии, СТКРМ осуществляют разгрузку сетевых трансформаторов и питающих линий электропередачи от реактивной мощности и тем самым снижают в них величину действующего тока и активных потерь, что позволяет увеличить передаваемую активную мощность без установки нового оборудования. Этот фактор определяет основной экономический эффект от применения СТКРМ в России в настоящее время (до введения тари-

фов за потребление реактивной мощности). Срок окупаемости СТКРМ составляет от 1 до 3 лет.

Таким образом, по аналогии с охраной окружающей среды СТКРМ являются своего рода «очистными системами» для энергетической среды, восстанавливая качество электроэнергии, испорченной потребителями, и снижая активные потери на ее передачу.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ООО «КПМ». Статический тиристорный компенсатор реактивной мощности СТК // ООО «КПМ»; интернет-портал. – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [http://complectprom.ru/produkciya/krm\\_main/stk/](http://complectprom.ru/produkciya/krm_main/stk/) (дата обращения: 15.09.2017).
2. АО «Нидек АСИ ВЭИ». Статический тиристорный компенсатор реактивной мощности // АО «Нидек АСИ ВЭИ». – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://nidec-asi-vei.ru/produktsiya/staticheskie-tiristornie-kompensatori-reaktivnoy-moschnosti/> (дата обращения: 15.09.2017).
3. Статические тиристорные компенсаторы // Электрические сети: интернет-портал. – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://leg.co.ua/stati/podstancii/staticheskie-tiristornye-kompensatory.html> <http://electricalschool.info/main/elsnabg/290-staticheskie-kondensatory-dlja.html> (дата обращения: 15.09.2017).
4. Двоеглазова, К. С. Разработка и исследования устройства компенсации реактивной мощности / К. С. Двоеглазова // Диссертация на соискание ученой степени магистра. – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://elibr.spbstu.ru/dl/2/7143.pdf/download/7143.pdf/> (дата обращения: 15.09.2017).
5. Копейкина, Т. В. Вопросы построения и реконструкции распределительных сетей / Т. В. Копейкина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12–4. – С. 592–595.

УДК 62-762.6

*А. Б. Голованчиков, М. Д. Романенко, Д. М. Кутепов*

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ УПЛОТНЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: [romanenko.mihail2009@yandex.ru](mailto:romanenko.mihail2009@yandex.ru)

Разработаны новые конструкции сальниковых и лабиринтных уплотнений, позволяющие регулировать силу прижатия сальника к вращающемуся валу или вибрирующему в продольном направлении штоку, а также уменьшить утечки газа или жидкости в лабиринтах.

**Ключевые слова:** сальниковые и лабиринтные уплотнения, утечки жидкостей и газов, энергозатраты на мощность.

*A. B. Golovanchikov, M. D. Romanenko, D. M. Kutepov*

### STRUCTURAL FEATURES AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE HYDRAULIC LOSSES OF THE SEALING DEVICES

Volgograd State Technical University

New designs of packing and labyrinth seals were developed, which allow, firstly, to regulate the force of pressing the gland to the rotating shaft or the rod vibrating in the longitudinal direction, and secondly, to reduce gas or liquid leaks in the labyrinths.

**Keywords:** packing and labyrinth seals, leakage of liquids and gases, power consumption.

Целью работы является ресурс- и энерго-сбережение за счет снижения потерь перерабатываемых жидкостей и газов в машинах и аппаратах.

Задачей предлагаемой конструкции сальниковых устройств, является увеличение срока службы с использованием эффекта самоуплотнения при повышенных температурах.

Задача решается таким образом, что внутри в основной части обычного сальникового уплотнения закладывается герметичная резиновая трубка с воздухом аналогично велосипедной камере [1].

При постепенном износе сальникового материала, его деструкции, старении и выкраши-

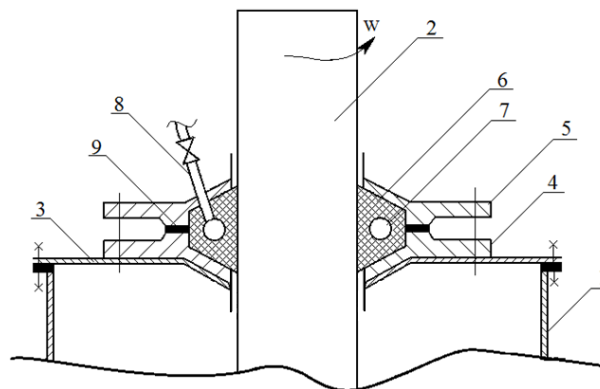


Рис. 1. Схема сальника, установленного на вращающемся валу аппарата [1]:

1 – корпус аппарата; 2 – вал; 3 – крышка аппарата; 4 – неподвижный фланец на крышке аппарата; 5 – прижимной фланец; 6 – сальниковое уплотнение; 7 – трубка из эластичного материала (резины, полимера); 8 – ниппель; 9 – прокладка

вании, то есть при потере рабочих свойств через ниппель можно подкачать дополнительно в трубку воздух и увеличивающая в объеме трубка заставит поверхности трения сальника

вновь прижиматься к уплотнительным поверхностям узлов трущихся сопряженных деталей. На рис. 2 показана другая конструкция сальникового уплотнения [2].

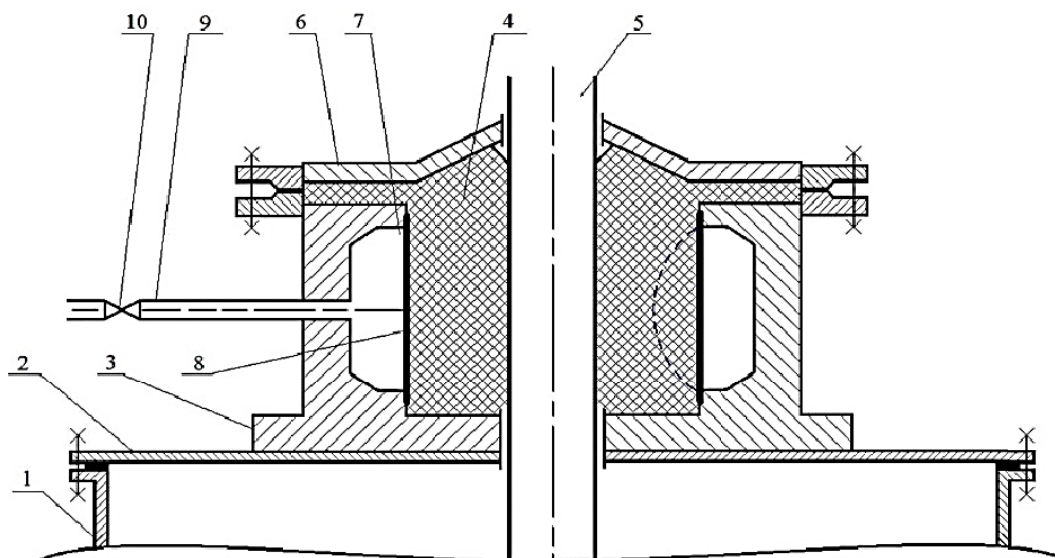


Рис. 2. Схема сальникового уплотнения [2]:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – сальниковая камера; 4 – мягкая или сыпучая набивка; 5 – подвижной элемент; 6 – нажимной элемент; 7 – кольцевая полость; 8 – эластичная мембрана; 9 – патрубок; 10 – вентиль (слева – без рабочего давления справа)

Находящееся внутри резиновая мембрана, за счет расширения воздуха в кольцевой полости, деформируется и прижимается к набивке сальниковой камеры.

На рис. 3 показана еще одна конструкция уплотнения, которое можно использовать при высоких температурах [3].

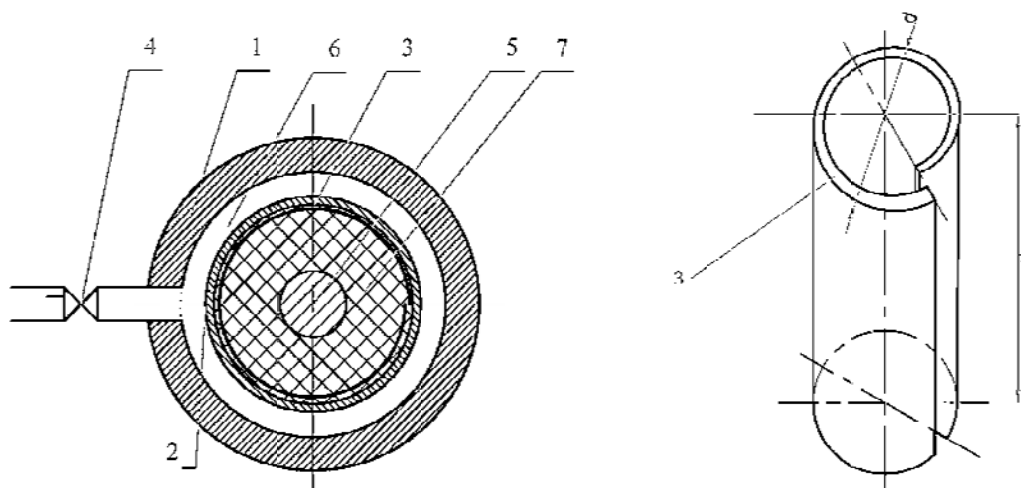


Рис. 3. Сальниковое уплотнение с разрезной гильзой [3]:

1 – сальниковая камера; 2 – мембрана; 3 – разрезная гильза; 4 – вентиль; 5 – шток или вал; 6 – кольцевая полость; 7 – набивка

Данная конструкция позволяет передавать усилие от давления в мембране по всей высоте сальниковой камеры.

На рис. 4 представлена модернизированная конструкция лабиринтного уплотнения [4].

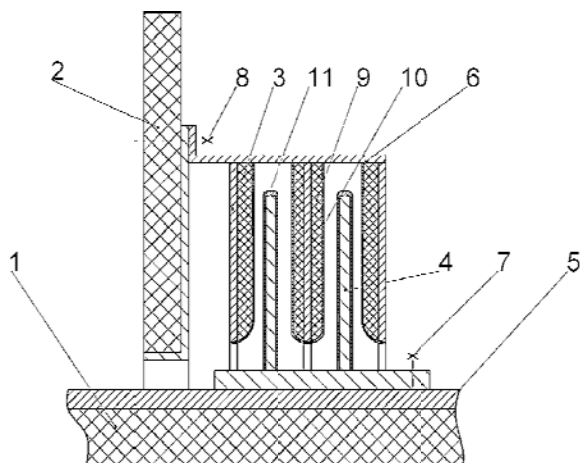


Рис. 4. Лабиринтное уплотнение барабанной сушилки [4]: 1 – барабан; 2 – камера; 3 – неподвижные кольца; 4 – подвижные кольца; 5 – кольцевая опора; 6 – манжеты; 7 – шпилька; 8 – шайба; 9 – кольца из эластичного материала; 10, 11 – пленка из антифрикционного материала (фторопласт)

Увеличение производительности по высушиваемому материалу за счет снижения подсоса воздуха в кольцевых каналах между подвижными и неподвижными кольцами достигается тем, что в лабиринтном радиальном уплотнении барабанной сушилки, включающем барабан, камеру, кольца неподвижные и кольца подвижные, причем на боковой стороне каждого неподвижного кольца, смежной с боковой стороной подвижного кольца, закреплены кольца из эластичного материала, покрытые снаружи пленкой из антифрикционного полимерного материала, при этом подвижные кольца покрыты пленкой из антифрикционного материала.

Экспериментально было доказано, что при одинаковом избыточном давлении в аппарате потери давления через модернизированную конструкцию (утечки) уменьшаются на 12,5 %, при одинаковых потерях мощности на создание избыточного давления расход утечек уменьшается на 10,5 %

На рис. 5 показана схема конструкции разборного радиального лабиринтного уплотнения [5].

За счет снабжения каждого подвижного кольца манжетой, выполненной из эластичного материала и обеспечивающей возможность скольжения по наружной поверхности барабана с натягом, позволяет за счет эластичности манжеты устанавливать ее на внешней поверхности барабана без больших затрат времени и усилий, что снижает затраты этого времени на монтаж и демонтаж подвижных колец, а значит увеличивает время основной работы барабанной сушилки и тем самым приводит к росту производительности [6].

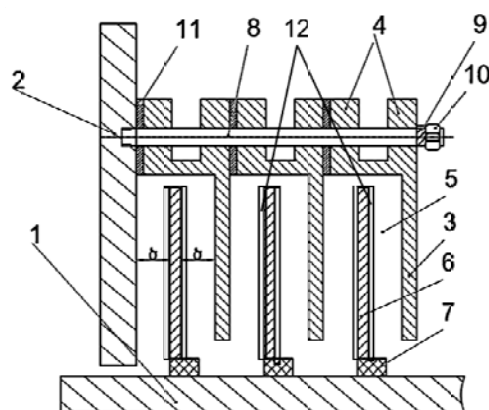


Рис. 5. Разборное лабиринтное радиальное уплотнение барабанной сушилки [5]:

1 – барабан; 2 – камера; 3 – диск; 4 – фланцы; 5 – кольцевая полость; 6 – подвижные кольца; 7 – манжеты; 8 – шпилька; 9 – шайба; 10 – гайка; 11 – прокладка; 12 – уплотнительные кольца

Испытание лабиринтного уплотнения проводилось при частоте вращения вала сверлильного станка  $5 n = 180 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 6) с уплотнительными кольцами (модернизированное уплотнение) [1] и без [4, 5]. Производилась подача воздуха из буферной емкости 1, которая регулировалась с помощью автотрансформатора 2. Замер расхода определялся по расходомеру 3. Из расходомера 3 воздух поступал в емкость с лабиринтным уплотнением 4. Перепад давления замерялся с помощью дифманометра 6. Производилось 3 замера с уплотнительными кольцами и без них. На диски наклеивались уплотнительные кольца, сделанные из полипропилена толщиной 240 мкм, причем накладка таких колец производилась с обеих сторон лабиринтных дисков.

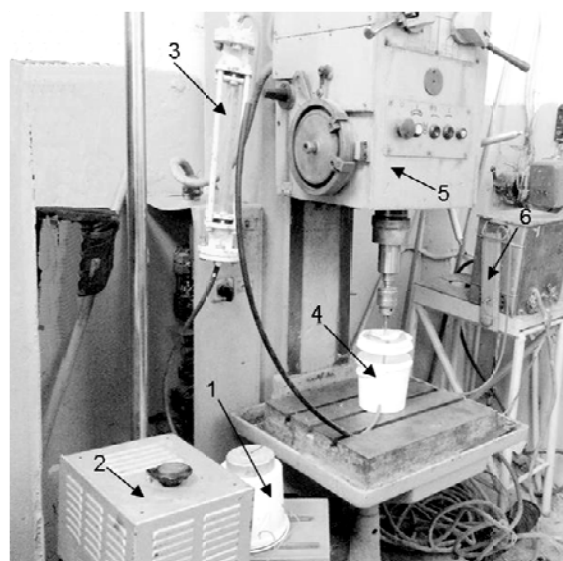


Рис. 6. Экспериментальная установка:

1 – буферная емкость; 2 – автотрансформатор; 3 – расходомер; 4 – емкость с лабиринтным уплотнением; 5 – сверлильный станок; 6 – дифманометр

По результатам проведенного эксперимента было выявлено снижение расхода воздуха и, как следствие, затрат на мощность в емкости экспериментальной установки.

На рис. 6 представлена экспериментальная установка.

На рис. 7 представлен график зависимости расхода воздуха от гидравлического сопротивления.

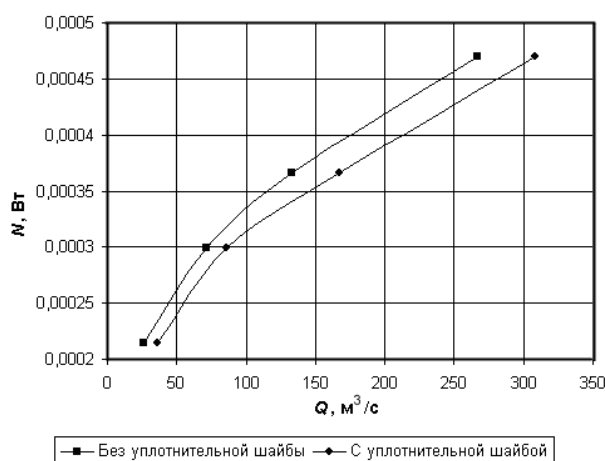


Рис. 7. График зависимости расхода воздуха от гидравлического сопротивления

На рис. 8 показана экспериментальная нелинейная регрессионная кривая зависимости процентов экономии мощности от расхода воздуха.

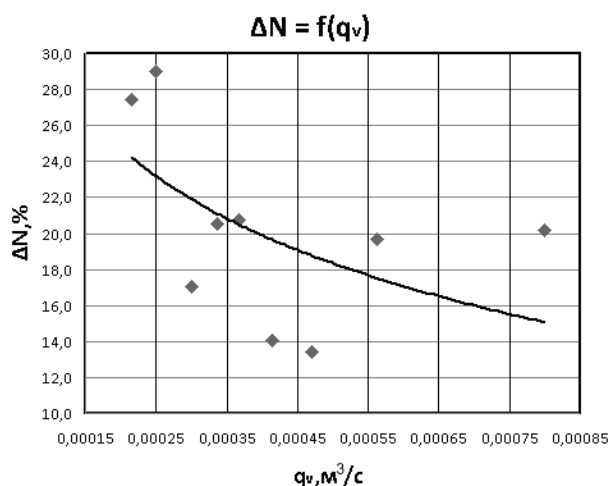


Рис. 8. График зависимости экономии мощности от расхода

Уравнение теоретического расхода воздуха имеет вид:

$$H_i = K_i \cdot q_v^{n_i},$$

где  $K_i$  – эмпирический безразмерный коэффициент, для случая с уплотнительными кольцами  $K_1 = 6,009$ , без уплотнительных колец  $K_2 = 4,2$ ;  $n_i$  – показатель степени ( $n_1 = 1,484$ ;  $n_2 = 1,58$ ).

### Статистические показатели эксперимента

Воспроизводимость по критерию Кохрена проходит условие  $G_p < G_{\text{таб}}$  для эксперимента с прокладками и без соответственно (0,469 и 0,2 < 0,4775). Адекватность по критерию Фишера – отклонение теоретических значений от экспериментальных допустимы  $F_p > F_{\text{таб}}$  (22,55 и 4,48 > 2,66). Значимость коэффициента по Стьюденту  $t_{\text{рас. A, B}} > t_{\text{таб. A, B}}$  (6146; 5089 и 565; 622 > 2,1). Коэффициент корреляции  $r$  положителен, следовательно, зависимость линейная и прямая ( $r > 0,9$ ).

### Заключение

1. На основе литературного и патентного обзора выявлены основные недостатки сальниковых и лабиринтных уплотнений, связанные с малым сроком службы и значительными утечками рабочих жидкостей и газов при длительной эксплуатации.

2. Разработаны три новых конструкции сальниковых уплотнений, защищенные патенты на полезную модель РФ, обеспечивающие увеличение срок службы, возможность регулирования давления в сальниковой камере при длительной эксплуатации.

3. Разработаны две новых конструкции лабиринтных уплотнений, обеспечивающие снижение утечки рабочих жидкостей и газов и уменьшающих энергозатраты по тепловой мощности на 10 % за счет увеличения сопротивления на утечки рабочих жидкостей и газов на 12 %.

4. Получены сильные и значимые коэффициенты методом корреляционного анализа, подтверждающие высокую степень воспроизводимости, значимости, адекватности зависимостей перепада давления и мощности от расхода.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П. м. 176709 Российская Федерация, МПК F26B25/08, F16J15/453 Лабиринтное уплотнение барабанной сушилки / Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Мишта Е. А., Кутепов Д. М., Гончаров Н. С., Хмелевская Е. С.; ВолГТУ. – 2018.
2. Тимонин, А. С. Машины и аппараты химических производств: учебник для вузов / А. С. Тимонин, Б. Г. Балдин, В. Я. Борщев. – Калуга : Издательство «Ноосфера». – С. 643.
3. П. м. 175456 Российская Федерация, МПК F16J15/18 Сальниковое уплотнение / Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Кутепов Д. М., Сумбулян С. В., Матасова Ю. Ю., Чебаткова Е. М.; ВолГТУ. – 2017.
4. Макаров, Г. В. Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – Л.: Машиностроение, 1973. – 232 с.
5. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. Б. Овандер [и др.];

под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.

6. Кутепов, Д. М. Модернизация сальниковых и лабиринтных уплотнений / Д. М. Кутепов, М. Д. Романенко, А. Б. Голованчиков // Пятая всероссийская студенческая научно-техническая конференция «Интенсификация тепло-

массообменных процессов, промышленная безопасность и экология», посвящ. 90-летию со дня рожд. Поникарова Ивана Ильича (г. Казань. Респ. Татарстан, 23–25 мая 2018 г.): материалы конф. / Казанский национальный исследовательский технологический ун-т, Ин-т химического и нефтяного машиностроения. – Казань, 2018. – С. 354–357.

УДК 621.86.067:620.22-492

**Н. А. Прохоренко, А. Б. Голованчиков, Д. О. Смольская**  
**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ШНЕКОВОГО ПРЕССА**  
**Волгоградский государственный технический университет**  
 E-mail: natasha292009@yandex.ru

Проведено совершенствование технологической линии производства томатного сока, изучение процесса экстрагирования, решена проблема интенсификации процесса экстрагирования с помощью различных физических воздействий на обрабатываемый материал.

**Ключевые слова:** экстракция, томатный ток, шнековый пресс, процесс экстрагирования, прессование, разделение, извлечение сока.

**N. A. Prohorenko, A. B. Golovanchikov, D. O. Smolskaya**  
**INTENSIFICATION OF THE WORK OF THE SPREAD PRESS**  
**Volgograd State Technical University**

The perfection of the technological line for the production of tomato juice, the study of the extraction process, the problem of intensification of the extraction process with the help of various physical influences on the processed material were solved.

**Keywords:** extraction, tomato current, screw press, extraction process, pressing, separation, extraction of juice.

В последнее время в мире резко возрос интерес к продуктам, направленным на эффективную профилактику здоровья. Производство соков имеет большое значение для человека. Все понимают, что для здоровья необходимо получать витамины, а в соках содержится их значительная часть [1].

Процесс производства томатного сока состоит из следующих этапов:

- очистка, мойка и сортировка сырья;
- дробление (измельчение) томатов;
- нагревание и экстракция томатной массы;
- центрифугирование и протирка томатопродуктов;
- фасование, стерилизация (пастеризация) сока.

На рис. 1 показана машинно-аппаратурная схема линии производства томатного сока.

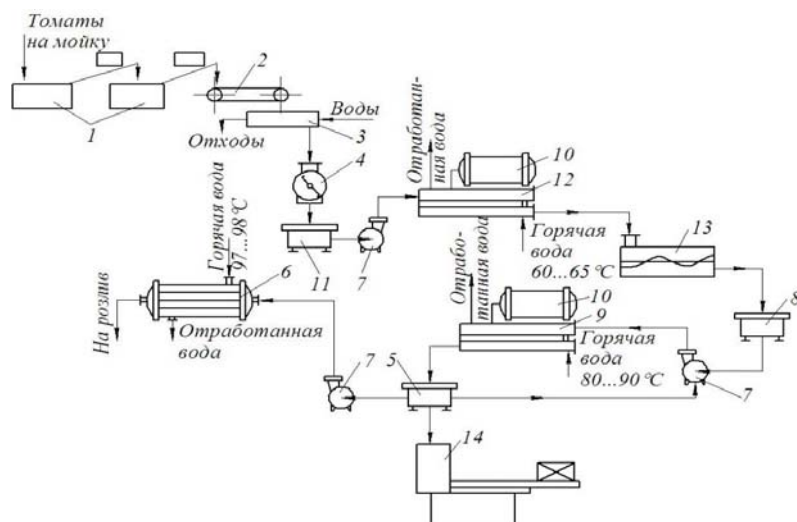


Рис. 1. Машинно-аппаратурная схема производства томатного сока:  
 1 – вентиляторная моечная машина КУВ-1; 2 – транспортер КТВ; 3 – гидролоток; 4 – дробилка 1Д-12; 5 – сборник; 6 – теплообменник; 7 – насос КНЛ-3; 8 – сборник; 9 – вакуум-подогреватель КТП-2; 10 – вакуум-бачок; 11 – гомогенизатор; 12 – сборочная емкость; 13 – шнековый пресс (экстрактор 2П8-1М); 14 – фасовочная машина

Устройство и принцип работы линии: двукратная мойка в вентиляторных моечных машинах 1 обеспечивает полное удаление загрязнений. При перемещении томатов на транспортере 2 сырье за счет вращения роликов переворачивается, что позволяет качественно осуществлять его сортировку и инспекцию. Гидролоток 3 под транспортером предназначен для удаления отходов. Проинспектированное сырье ополаскивается водой на наклонном участке транспортера, после чего измельчается в дробилке 4. Дробленая масса собирается в емкость 11, откуда перекачивается насосом 7 в сдвоенный вакуум-подогреватель 12 с вакуум-бачком 10, где нагревается до температуры 60–65 °С для облегчения отжима сока в шнековом прессе 13. Линия оснащена резервным шнеком для обеспечения безостановочной работы.

Шнеки расположены на эстакаде, поэтому отжатый сок самотеком поступает в сборник 8 под эстакадой. Сборник оборудован поплавковым сигнализатором уровня. Сок из сборника 8 перекачивается насосом 7 в вакуум-бачок 10, а затем в сдвоенный вакуум-подогреватель 9, где нагревается до температуры 80–90 °С, а из подогревателя – в сборник 5. При температуре ниже установленной сок снова направляется насосом 7 на повторный подогрев в вакуум-подогреватель 9.

При упаковывании в тару вместимостью 0,25–0,5 л сок к фасовочной машине 14 поступает из сборника 5. При горячем розливе в бутылки сок из сборника 5 подается насосом в теплообменник 6 для нагрева до температуры 97–98 °С. Если линия была остановлена и сок в сборнике 5 остыл, его снова перекачивают в вакуум-подогреватель 9. Сок циркулирует в системе до тех пор, пока температура его достигнет 85 °С.

Экстракцией называется извлечение одного или нескольких компонентов из сложного по составу сырья. Экстрагирование растительного сырья является одной из наиболее продолжительных стадий его переработки. Экстракция, в частности жидкостная, используется для абсолютного и относительного концентрирования. Абсолютное экстракционное концентрирование заключается в увеличении концентрации вещества за счет его перевода из большого объема водной фазы в меньший объем органической.

На эффективность процесса экстрагирования оказывают влияние следующие факторы:

- дисперсность сырья: перед экстракцией рекомендуется провести дробление и измельчение сырья;

- необходимо обеспечить перемешивание;
- продолжительность обработки: не рекомендуется проводить слишком длительную обработку сырья, так как может повыситься мутность экстракта из-за сопутствующего процесса диспергирования.

В данную технологическую схему необходимо провести внедрение шнек-пресса, который обеспечит производство высококачественного продукта с производительностью 5400 кг/ч.

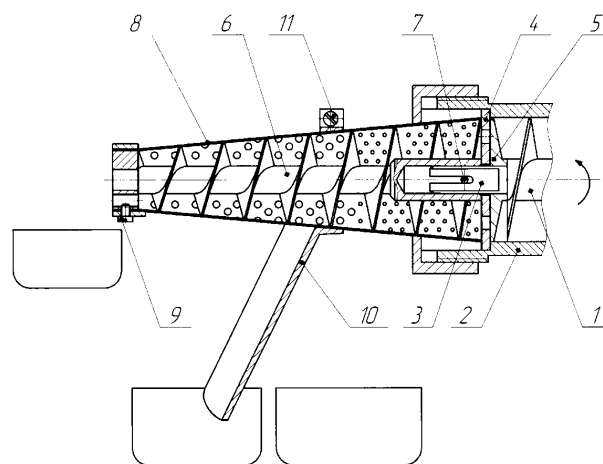


Рис. 2. Схема устройства для прессования и разделения сока с мякотью из плодов и овощей:

1 – подающий шнек; 2 – корпус; 3 – удлинитель вала; 4 – измельчающая решетка; 5 – сменный нож; 6 – конусный прессующий шнек; 7 – шпилька; 8 – корпус; 9 – регулятор отжима; 10 – лоток; 11 – винт

В патенте [2] представлено устройство для разделения сока при прессовании плодов и овощей (рис. 2). Разработка относится к универсальным машинам и аппаратам для переработки плодов и овощей в условиях фермерского хозяйства или на предприятиях пищевой промышленности. Устройство включает в себя привод, корпус с загрузочной горловиной, последовательно установленные подающий и прессующий шнеки, измельчающие элементы, фильтрующую сетку и отвод отжима. Данное устройство отличается тем, что на фильтрующей сетке прессующего шнека установлен передвижной разделяющий лоток-разделитель отвод выделяемого сока с мякотью, причем фильтрующая сетка прессующего шнека выполнена двухсекционной с отверстиями разного диаметра по секциям.

В патенте [3] представлено шнековое устройство для извлечения сока из овощей и фруктов (рис. 3). Изобретение относится к пищевой промышленности. Данный шнек-пресс отличается тем, что между подающим и прессующим

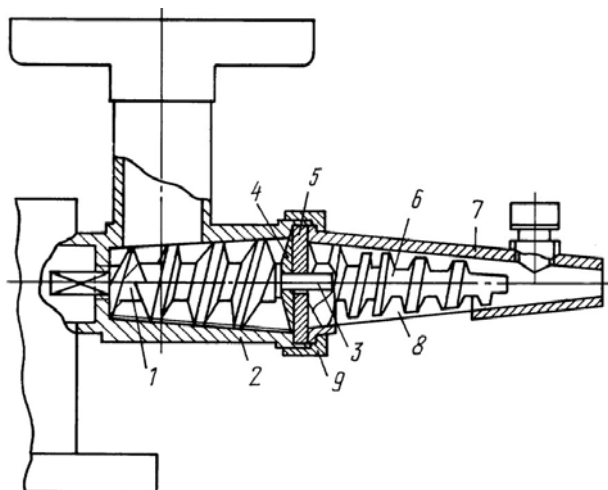


Рис. 3. Шнековое устройство для извлечения сока из овощей и фруктов:

1 – подающий шнек; 2 – корпус; 3 – удлиненный вал; 4 – сменный нож; 5 – противорежущая решетка; 6 – конусный шнек; 7 – дополнительный корпус; 8 – фильтрующая сетка; 9 – накидная гайка; 10 – паз; 11 – паз

шнеком установлена противорежущая решетка и вращающийся нож, а основание прессую-

щего шнека выполнено с плоскостью в виде ножа очистки противорежущей решетки со стороны прессующего шнека.

Задачей изобретения является разработка шнекового устройства для извлечения сока из овощей и фруктов твердых сортов, в котором был бы упрощен процесс получения сока и не требовал бы предварительного тщательного измельчения сырья, при этом качество и производительность не были снижены.

Данное устройство работает по типу «подающий шнек – нож – решетка – прессующий шнек». Это позволяет сначала измельчить сырье, а затем сразу же отжимать из сырья сок прессующим шнеком. Предлагаемое устройство для получения сока из овощей и фруктов без предварительного их измельчения не требует больших затрат на изготовление.

На основании изученных патентов был разработан шнековый пресс (рис. 4), который может быть использован в технологической линии при производстве томатного сока.

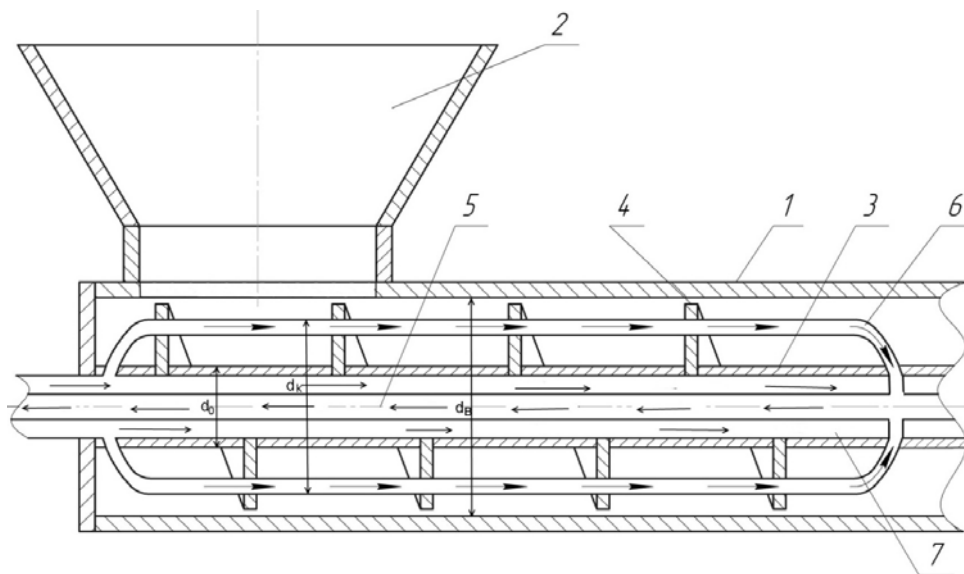


Рис. 4. Шнековый пресс:

1 – корпус; 2 – приемная зона; 3 – полый шнек; 4 – гребни; 5 – трубка; 6 – дополнительная трубка; 7 – полость шнека

Задачей изобретения является увеличение производительности за счет дополнительного обогрева прессуемой массы внутри корпуса.

Выполнение в витках шнека сквозных отверстий с установкой в них дополнительных трубок для циркуляции горячего теплоносителя и соединение концов этих трубок на входе и на выходе с полостью шнека позволяет дополнительно подавать горячий теплоноситель в этом дополнительные трубки и обогревать прессуемую массу не только вблизи оси шнека, но и в центральной части между гребнями шнека, что

способствует равномерному прогреванию всего объема прессуемой массы, выравниванию ее эффективной вязкости, увеличению скорости перемешивания и производительности.

Недостатками известных устройств является низкая эффективность экстракции, повышенное содержание взвесей, большие энергозатраты. В данной дипломной работе предлагается модернизация пресс-шнека 2П8-1М, а, именно, установка дополнительной трубки для циркуляции горячего теплоносителя, которая параллельна оси шнека и проходит через сквозные

отверстия витков. Все это позволит увеличить производительность, а также произвести более эффективный и равномерный нагрев за счет дополнительного обогрева прессуемой массы внутри корпуса [4].

Проведем основные расчеты внедрения данной конструкции в технологическую схему. Томатная масса поступает в шнек-пресс при температуре  $t = 25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вязкость массы  $\mu = 2700\text{ мПа}\cdot\text{с}$ , объемной массой  $m = 1,140\text{ л/кг}$ .

Величина расхода греющей воды:

$$W = \frac{Q_{\text{общ.}}}{c \cdot (t_n - t_k)},$$

$$Q = 0,127 \cdot (D^2 - d^2) \cdot (H - \delta) \cdot (1 - k_0) \cdot \rho \cdot \psi \cdot \omega =$$

$$= 0,127 \cdot (0,33^2 - 0,175^2) \cdot (0,231 - 0,015) \cdot (1 - 0,19) \cdot 880 \cdot 9,75 \cdot 0,1 = 1,5 \left[ \frac{\text{кВт}}{\text{с}} \right]$$

где  $\delta$  – толщина витка шнека в осевом направлении по наружному диаметру,  $\delta = 0,015\text{ м}$ ;  $\rho$  – плотность материала,  $\rho = 880\text{ кг/м}^3$ ;  $\psi$  – коэффициент заполнения межвиткового пространства,  $\psi = 0,1$ ;  $\omega$  – угловая скорость вращения шнека,  $\text{с}^{-1}$ :

Время работы в общем виде:

$$\tau_{\text{цикл}} = \tau_{\text{работа}} + \tau_{\text{мойка}},$$

где  $\tau_{\text{работа}}$  – время работы оборудования, ч;  $\tau_{\text{мойка}}$  – время, затрачиваемое на мойку оборудования, ч.

Шнек-пресс является последней основной стадией технологического процесса производства томатного сока. Так как экстрактор работает непрерывно, то цикл работы имеет вид:

$$\tau_{\text{цикл}} = \tau_{\text{работа}} + \tau_{\text{мойка}},$$

где  $\tau_{\text{работа}}$  – время, затрачиваемое на экстрагирование, ч;  $\tau_{\text{мойка}}$  – время, затрачиваемое на мойку оборудования,  $\tau_{\text{мойка}} = 0,5\text{ ч}$ .

Тогда время цикла имеет вид:

$$\tau_{\text{цикл}} = 0,2 + 0,5 = 0,7\text{ ч}.$$

Разработанная конструкция шнек-пресса с полым шнеком и дополнительными трубками в гребнях шнека, для подачи горячего теплоно-

где  $c$  – удельная теплоемкость греющей воды,  $c = 4180\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;  $t_n$  – начальная температура греющей воды,  $t_n = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_k$  – конечная температура греющей воды,  $t_k = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$W = \frac{40087,64}{4180 \cdot (65 - 60)} = 1,92\text{ кг/с}.$$

Производительность шнекового устройства определяется произведением полезно заполненного одношагового межвиткового объема в пределах плоского угла в один радиан на угловую скорость вращения шнека, которую можно определить из формулы:

сителя, способствует равномерному обогреву прессуемой массы, повышению качества продукции и увеличению производительности[5].

Внедрение данного шнек-пресса обеспечит производство высококачественного продукта с производительностью 5400 кг/ч.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маршалкин, Г. А. Технологическое оборудование пищевых предприятий / Г. А. Маршалкин. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 2004. – 448 с.
2. Устройство для извлечения сока из овощей и фруктов : патент 2162649 Российская Федерация : МПК А 23 N 1/00, А 47 J 19/00 / А. Н. Семин, П. В. Лесков, М. Ю. Кирсанов, Ю. А. Кирсанов.
3. Устройство для разделения сока при прессовании плодов и овощей : патент 145665 Российская Федерация : МПК А 23 N 1/00 / В. В. Швецов, В. С. Нагорских, Л. А. Минухин, С. В. Швецова, Ю. А. Кирсанов.
4. П. м. 179033 Российская Федерация, МПК В01J2/20, В30В9/14 Шнековый пресс / Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Смольская Д. О., Тхи Хуен Ву; ВолгГТУ. – 2018.
5. Смольская, Д. О. Шнековый пресс / Д. О. Смольская, А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко // Вестник научных конференций : сетевое издание. № 1–4 (29) : по материалам междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы образования и науки» (31 января 2018 г.) / редкол.: С. В. Аксенова и др.; Консалтинговая компания Юком. – Тамбов, 2018. – С. 148–149.

УДК 621.86.067:620.22-492

*Н. А. Прохоренко, А. Б. Голованчиков, В. Н. Павленко***ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ БАРАБАННОГО ПИТАТЕЛЯ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: natasha292009@yandex.ru

Проведен анализ современных технологий и техники для производства пива и рассмотрены теоретические основы производства. Разработана конструкция барабанного питателя, позволяет предавать вибрацию материалу, подверженному силам адгезии, сыпаться с более высокой скоростью, без образования сводов над выпускным отверстием промышленного бункера, что будет способствовать увеличению производительности. Проведен технологический расчет бункера, подобраны габаритные размеры пирамидального бункера.

**Ключевые слова:** производство пива, питатель, дозатор, барабанный питатель, силы адгезии, вибрационные устройства, вибрация, сводообразование, бункер.

*N. A. Prohorenko, A. B. Golovanchiko, V. N. Pavlenko***INTENSIFICATION OF WORK OF THE DRUMMER FEEDER****Volgograd State Technical University**

The analysis of modern technologies and techniques for beer production is carried out and the theoretical bases of production are considered. The design of the drum feeder is developed, allows to vibrate the material susceptible to adhesion forces, to sink at a higher speed, without forming vaults above the outlet of the industrial bunker, which will increase productivity. The technological calculation of the bunker was carried out, the overall dimensions of the pyramidal bunker were chosen.

**Keywords:** beer production, feeder, dispenser, drum feeder, adhesion forces, vibrating devices, vibration, arbor formation, bunker.

Пивоваренная промышленность имеет богатые традиции: многие пивовары используют технологии, практически не изменившиеся за последние 100 лет. Новые технологические прорывы в процессе пивоварения встречаются достаточно редко, так как большинство пивоваров опасаются, что изменения могут или ухудшить качество, или сказаться на популярности бренда. В последние годы ситуация начала меняться: путем объединений и слияний сформировались крупные пивоваренные компании, а усилившаяся конкуренция на пивном рынке заставила пивоваров проводить более эффективную ценовую политику, чем раньше. В настоящее время для повышения производительности труда, уменьшения затрат на энергию или для создания новых продуктов стали применять технологические инновации [1].

Чтобы сварить пиво, для начала нужно приготовить сусло. Пивное сусло – это водный раствор экстрактивных веществ солода и хмеля. Экстрактивные – это те вещества, которые растворяются в воде и переходят в сусло при затирании [2].

Рассмотрим машинно-аппаратурную схему производства пива на ОАО «Пивовар», представленную рис. 1.

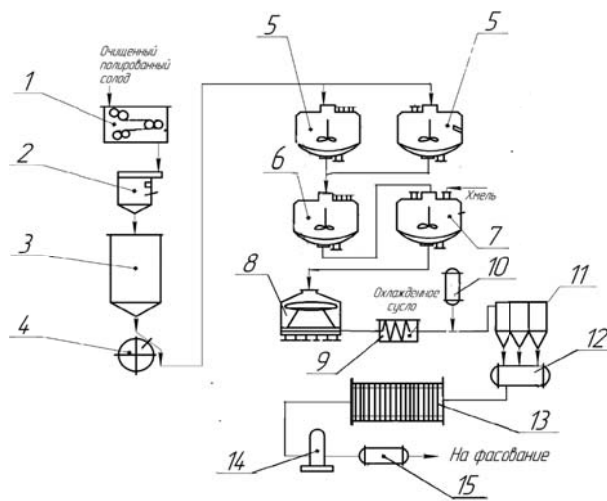


Рис. 1. Технологическая линия производства пивоваренного ОАО «Пивовар»

Очищенный солод измельчается в вальцовой дробилке 1 в целях получения максимального количества мелкой однородной крупки и сохранения шелухи. Дробленый солод взвешивают весами 2 и сыплют в бункер 3. Отлежавшийся дробленый солод проходит магнитную очистку в магнитоуловителе 4 и подается в заторный аппарат 5, где смешивается с теплой водой (около 20 °С) и перемешивается. По окончании перемешивания (затирания) часть затор-

ной массы (около 40 %) нагревают до температуры осахаривания (около 70 °С), а по окончании осахаривания – до кипения. При кипячении крупные частицы солода развариваются. Затоп перекачивают в суслосборник 6 и оставляют в покое для осахаривания. После прозрачное сусло перекачивают в сусловарочный аппарат 7.

В аппарате 7 сусло кипятится с хмелем. При кипячении выпаривается некоторое количество воды, происходят частичная денатурация белков сусла и его стерилизация. Горячее охмеленное сусло спускают в вихрь 8, в котором оно очищается от взвешенных частиц коагулированных белков. Из вихря 8 сусло нагнетается в пластинчатый теплообменник 9, где охлаждается до 5–6 °С. После в охлажденное сусло добавляют ЧКД сливают в ЦКТ 11. Брожение длится 6–8 суток. По окончании главного брожения молодое пиво отделяют от дрожжей и перекачивают в танк 12 для дображивания в течение 11–90 суток. По окончании дображивания пиво под давлением диоксида углерода нагнетается фильтр-пресс 13, где оно освобождается от взвешенных в нем дрожжей, других микроорганизмов и мелкодисперсных частиц. Осветленное пиво насыщается (при необходимости) диоксидом углерода в карбонизаторе 14 и сливается в танк 15. Отфильтрованное пиво из танка 15 под давлением подается в отделение упаковывания в потребительскую и торговую тару.

Дозатор – это автоматическое устройство для дозирования указанной массы, а также объема рассыпчатых твердых веществ, жидкостей, паст и газов. Дозаторы также называют диспансерами. В промышленности они служат для выдачи определенного количества продуктов и различных веществ потребителю. В зависимости от количества дозированных продуктов, дозаторы разделяют на одно- и многокомпонентные [3].

Для улучшения производительности работы представленной технологической схемы была разработана конструкция барабанного питателя, которая будет включаться в технологическую схему, перед магнитоуловителем 4, для того чтобы он не захлебывался от непрерывной подачи. Внедрение данного питателя обеспечит производство высококачественного продукта с высокой производительностью.

На рис. 2 схематично изображен общий вид предлагаемой конструкции.

Дозатор весовой непрерывного действия состоит из корпуса 1, на котором установлен

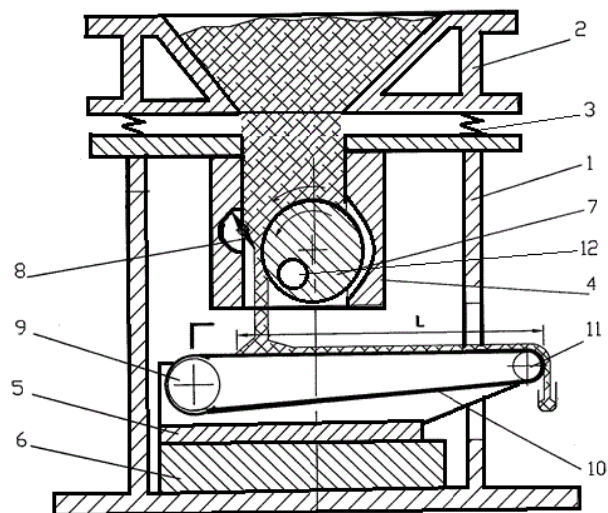


Рис. 2. Весовой дозатор

промежуточный бункер 2. В нижней части бункера 2 крепится пружинами 3 к корпусу 1. Корпус 1 имеет отверстие, через которое материал из промежуточного бункера 2 поступает в барабанный питатель шихты 4, закрепленный внутри корпуса 1. Под барабанным питателем 4 расположен ленточный транспортер 5, смонтированный на неподвижной грузовой платформе 6 электронных тензометрических весов.

Барабанный питатель шихты представляет собой пустотелый корпус 4 с отверстием прямоугольного сечения, внутри которого смонтированы на подшипниках вращающийся барабан 7 и дозирующая заслонка 8, которые образуют между собой дозирующую щель. При неподвижном положении барабан 7 служит шлюзовым затвором. Регулирование производительности барабанного питателя 4 может осуществляться изменением частоты вращения барабана 7 или с помощью дозирующей заслонки 8, производящей частичное уменьшение или увеличение ширины выпускающей щели. Ленточный транспортер состоит из П-образной рамы 5, ведущего вала 9, бесконечной ленты 10 и натяжного вала 11. В барабане 7 имеется отверстие 12, которое является дисбалансом, из-за чего дозатор будет работать в неуравновешенном режиме.

Электронные тензометрические весы 6 с неподвижной грузовой платформой являются типовыми (например, модель ПВ-6 по ТУ 4274-005-27450820-95). Весы могут показывать чистую массу груза с вычетом массы тары (транспортера), они имеют два интерфейса, один из которых может поддерживать связь с печатающим устройством, второй с исполнительными устройствами дозатора [3].

Для того чтобы внедрить данную конструкцию, в технологическую линию, необходимо рассчитать геометрические размеры загрузочного устройства.

$$\cos \alpha = \sqrt{4 \cdot f_1^4 + 1 - 2 \cdot f_1^2} = \sqrt{4 \cdot 0,5^4 + 1 - 2 \cdot 0,5^2} = 0,5 = 60^\circ$$

где  $f_1$  – 0,47–0,53 коэффициент внешнего трения для солода.

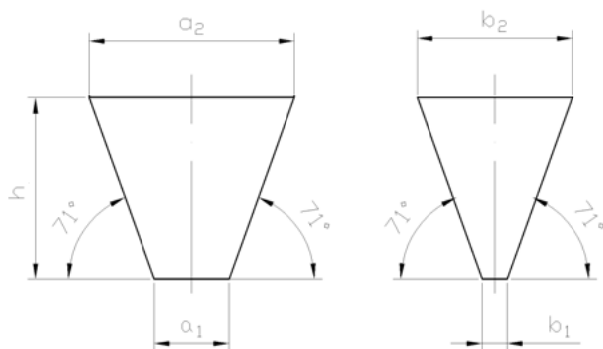


Рис. 3. Схема бункера

Следовательно, при проектировании бункеров угол наклона стенок необходимо принимать несколько больше расчетной величины, так как необходимо учесть увеличение коэффициента трения в результате коррозии стенок бункеров и налипания на них остатков сыпучего материала, при этом угол наклона к вертикали, который обеспечивает движение материала, зависит от формы выпускного отверстия. Исходя из этого, принимаем  $\cos \alpha > 71^\circ$ .

Принимаем конструктивно сторону воронки  $b_1 = 0,4$  м, при условии  $a_1/b_1 \geq 3$ , принимаем  $a_1 = 1,2$  м.

Принимаем конструктивно сторону  $b_2 = 2,5$  м, тогда  $a_2 = 3,3$  м. Принимаем конструктивно высоту пирамидальной части бункера  $h = 3$  м. Исходя, из принятых конструктивно размеров, угол наклона составил  $\cos \alpha > 71^\circ$ .

Вычислим объем бункера [2]:

$$V = \frac{h}{6} ((2 \cdot a_2 + a_1) b_2 + (2a_1 + a_2) b_1),$$

$$V = \frac{3}{6} ((2 \times 3,3 + 1,2) 2,5 + (2 \times 1,2 + 3,3) 0,4) = 10,9 \text{ м}^3$$

Рациональный угол наклона стенок бункера зависит в основном от коэффициента внешнего трения сыпучего материала и может быть найден по формуле:

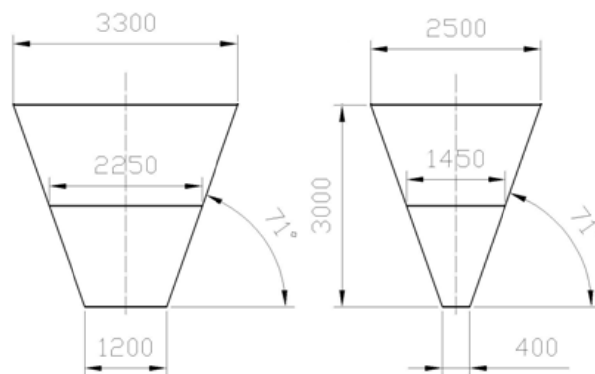


Рис. 4. Габаритные размеры бункера

Координаты центра тяжести объема равны:  $x_{ц} = 0, y_{ц} = 0$ .

Шаг ребер принимаем  $S_i = 1,5$  м.

Таким образом, промежуточный бункер 2, выполненный на пружинах 3 и барабан питателя 7 с осесимметричным отверстием 12, позволяет предавать вибрацию материалу, подверженному силам адгезии, ссыпаться с более высокой скоростью, без образования сводов над выпускным отверстием промышленного бункера, что будет способствовать увеличению производительности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аракава, М. Свойства сыпучих тел и степень зернистости / М. Аракава // Секубай. – 1994. – Т. 16, № 3. – С. 51–58.
2. Основы технологии подготовки дисперсных материалов при переработке энергетических конденсированных систем. В 2 ч. Ч. 1. Изучение свойств и подготовка дисперсных материалов / Н. А. Симбирцев [и др.]. – М. : Эврика, 2009. – 191 с.
3. Павленко, В. Н. Реконструкция технологической схемы получения алюминиевых порошков / В. Н. Павленко, Н. А. Прохоренко // Современные тенденции развития науки и технологий : сб. науч. тр. по матер. XXV междунар. науч.-практ. конф. (г. Белгород, 29 апреля 2017 г.). В 5 ч. Ч. II / под общ. ред. Ж. А. Шаповал ; Агентство перспективных научных исследований (АПНИ). – Белгород, 2017. – № 4, ч. II. – С. 138–140.

Редактор РИО, ответственный за выпуск:  
**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)

---

**Учредитель:**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)

---

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

---

Темплан 2018 г. Поз. № 24ж. Подписано в печать 19.10.2018 г. Формат 60 x 84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 8,83. Уч.-изд. л. 8,65.  
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №  
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ  
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.  
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ  
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

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.