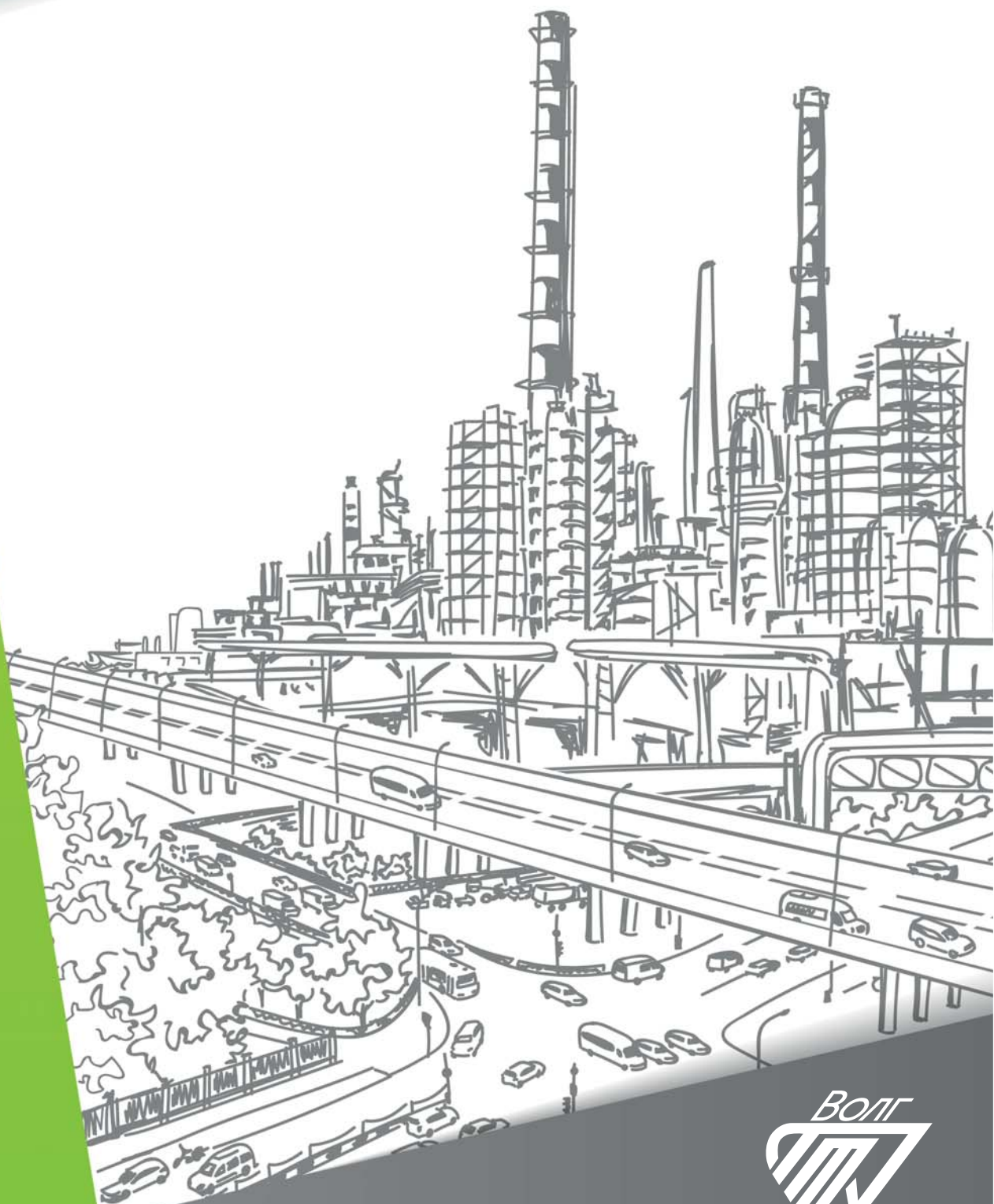


ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 3 (36)
2021



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

Редакционная коллегия:

И. И. Артюхов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Е. В. Балакина – д.т.н., проф., ВолгГТУ
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. Дармания – д.т.н., проф., ВГАУ,
г. Волгоград
А. М. Иванов – д.т.н., проф.,
МГТУ (МАДИ), г. Москва
А. В. Келлер – д.т.н., проф. НАМИ, г. Москва
В. В. Кортаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
Г. О. Котиев – д.т.н., проф., МГТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д.т.н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д.т.н., проф., МГТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. Е. Новиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СНИУ
им. академика С. П. Королева, г. Самара
Е. А. Федянов – д.т.н., проф., ВолгГТУ
В. Т. Фомичев – д.т.н., проф., ВолгГТУ
А. Н. Шилин – д.т.н., проф., ВолгГТУ

Ответственный секретарь
П. С. Васильев – к.т.н., доц., ВолгГТУ

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
94193(ОК+ЭК).

Тел. издательства ВолгГТУ:
+7 (8442) 24-84-08
+7 (8442) 24-84-05
e-mail: zavrio@vstu.ru

№ 3 (36)
Сентябрь
2021

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: +7 (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: +7 (8442) 24-84-31
e-mail: pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

V. I. Lysak – Academician of
RAS Academician of RAS,
D. Sc. (Technical), Professor

Editorial Board:

I. I. Artuchov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
E. V. Balakina – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
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
A. V. Keller – D. Sc. (Engineering), Prof.,
NAMI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St. Petersburg
G. O. 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. E. Novikov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. T. Fomichev – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd

Executive Secretary
P. S. Vasilyev – 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+ЭК).

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavrio@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,

«Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2021

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:
ПИ .N° (ФЦ77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 3 (36)
September
2021

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 accord-
ance 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

Васильев П. С. 11	Савельев В. В. 36
Голованчиков А. Б. 6, 13, 17, 22	Спивак Д. А. 32
Залипаева О. А. 6	Черикова К. В. 6
Меренцов Н. А. 22	Шибитова Н. В. 6
Полуэктов М. В. 32, 36	Шурак А. А. 11, 13, 17, 22
Прохоренко Н. А. 13, 17	Яблонский В. О. 26
Рева Л. С. 11	

AUTHOR INDEX

Cherikova K. V. 6	Shibitova N. V. 6
Golovanchikov A. B. 6, 13, 17, 22	Shurak A. A. 11, 13, 17, 22
Merentsov N. A. 22	Spiwak D. A. 32
Poluektov M. V. 32, 36	Vasiliev P. S. 11
Prokhorenko N. A. 13, 17	Yablonskii V. O. 26
Reva L. S. 11	Zalipaeva O. A. 6
Savelyev V. V. 36	

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Шибитова Н. В., Голованчиков А. Б., Залипаева О. А., Черикова К. В.</i> Повышение энергоэффективности аппаратного оформления производства каустической соды.....	6
<i>Рева Л. С., Васильев П. С., Шурак А. А.</i> Экспериментальная установка для исследования теплоотдачи в псевдооживленном слое.....	11
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Шурак А. А.</i> Разработка конструкции распылительной дисковой сушилки для производства сухих продуктов.....	13
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Шурак А. А.</i> Разработка и расчет конструкции ректификационной колонны при атмосферной перегонки нефти.....	17
<i>Голованчиков А. Б., Шурак А. А., Меренцов Н. А.</i> Моделирование и расчет процесса пароувлажнения воздуха в помещении при различных режимах работы.....	22
<i>Яблонский В. О.</i> Разработка методики расчета гидроциклонов для дегазации нефти на основании уравнения регрессии.....	26

ТРАНСПОРТ

<i>Спивак Д. А., Полуэктов М. В.</i> Анализ ресурса элементов рулевого управления грузовых автомобилей малого класса.....	32
<i>Полуэктов М. В., Савельев В. В.</i> Определение стоимости владения легковыми автомобилями в эксплуатации.....	36

CONTENTS

INDUSTRY

<i>Shibitova N. V., Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Cherikova K. V.</i> IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE HARDWARE DESIGN OF THE PRODUCTION OF CAUSTIC SODA.....	6
<i>Reva L. S., Vasiliev P. S., Shurak A. A.</i> EXPERIMENTAL SETUP FOR RESEARCH HEAT TRANSFER IN THE FLUIDIZED BED.....	11
<i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Shurak A. A.</i> DESIGN DEVELOPMENT OF A SPRAY DISC DRYER FOR THE PRODUCTION OF DRY PRODUCTS.....	13
<i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Shurak A. A.</i> DEVELOPMENT AND CALCULATION OF THE DESIGN OF THE RECTIFICATION COLUMN FOR ATMOSPHERIC OIL DISTRIBUTION.....	17
<i>Golovanchikov A. B., Shurak A. A., Merentsov N. A.</i> MODELING AND CALCULATION OF THE PROCESS OF STEAM HUMIDIFICATION OF THE AIR IN THE ROOM UNDER VARIOUS OPERATION MODES.....	22
<i>Yablonskii V. O.</i> DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING HYDROCYCLONES FOR OIL DEGASSING ON THE BASIS OF REGRESSION EQUATIONS.....	26

TRANSPORT

<i>Spiwak D. A., Poluektov M. V.</i> SMALL-CLASS TRUCKS STEERING ELEMENTS RESOURCE ANALYSIS.....	32
<i>Poluektov M. V., Savelyev V. V.</i> DETERMINATION OF THE PASSENGER CARS OWNERSHIP COST IN OPERATION.....	36

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 66.048.5

Н. В. Шибитова, А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, К. В. Черикова

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: pahp@vstu.ru

В работе выполнен анализ применения современного оборудования в производстве каустической соды для различных стадий технологического процесса. Гидроксид натрия получают в основном тремя электрохимическими способами: мембранный с полимерным катодом, диафрагменный способ с железным катодом и ртутный метод с жидким катодом. Безусловно, наиболее перспективным способом получения каустика является мембранный способ, но он слишком дорогой. На основании математического моделирования, проведенного с помощью компьютерной программы, разработанной авторами, производственных испытаний на модульной установке фирмы Flottweg, анализа современных конструкций аппаратов выпарной установки и оборудования стадии охлаждения каустика снижается расход греющего пара на 20 т/ч и потери раствора на стадии растворения соли NaCl в отстойниках на 20 %.

Ключевые слова: каустическая сода, гидроксид натрия, способы получения, модульная установка, моделирование, энергоэффективность.

N. V. Shibitova, A. B. Golovanchikov, O. A. Zalipaeva, K. V. Cherikova

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE HARDWARE DESIGN OF THE PRODUCTION OF CAUSTIC SODA

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the use of modern equipment in the production of caustic soda for various stages of the technological process. Sodium hydroxide is obtained mainly by three electrochemical methods: the membrane method with a polymer cathode, the diaphragm method with an iron cathode and the mercury method with a liquid cathode. Of course, the most promising method for producing caustic is the membrane method, but it is too expensive. Based on mathematical modeling carried out using a computer program developed by the authors, production tests on a modular Flottweg installation, analysis of modern designs of evaporation plant devices and equipment for the caustic cooling stage, the consumption of heating steam is reduced by 20 t/h and the loss of solution at the stage of dissolution of the NaCl salt in the settling tanks by 20 %.

Keywords: caustic soda, sodium hydroxide, production methods, modular installation, modeling, energy efficiency.

В России каустическая сода (КС) производится тремя электрохимическими методами [2] на 10 ведущих предприятиях [1], причем 5 из них используют передовую мембранную технологию, а остальные – диафрагменный и ртутный методы. По качеству КС должна соответствовать требованиям ГОСТ [3].

Спрос на КС постоянно растет. Самым крупным потребителем этого сырья является химическая промышленность, КС применяется в производстве красителей, пластмасс, органических

полупродуктов, фармацевтических препаратов, для очистки газов, а также в производстве синтетических и искусственных волокон. В нефтяной и нефтехимической промышленности КС используется для обработки жидких топлив и продуктов нефтехимического синтеза, а также в производстве синтетического каучука, синтетического спирта и т. д.

В статье рассмотрено аппаратное оформление производства КС, получаемого диафрагменным способом. Производство гидроксида

натрия является многостадийным и основные энергозатратные стадии – приготовление раствора соли NaCl , выпаривание электролитической щелочи на многокорпусной выпарной установке, охлаждение и отстой раствора КС.

Несмотря на все еще широкое применение диафрагменного способа получения КС, он имеет существенный недостаток – высокое содержание соли NaCl в готовом продукте. Поэтому для получения товарного продукта с минимальным содержанием примесей и снижения энергозатрат на производстве необходимо оптимизировать технологические режимы и выбрать высокоэффективные конструкции аппаратов.

В данной работе поставленная задача решается путем моделирования процесса выпаривания, как наиболее энергозатратного, с помощью компьютерной программы, разработанной авторами [4], а также использованием модульной установки для производственных испытаний для разделения различных гетерогенных систем.

При анализе работы стадии процесса растворения соли NaCl в отстойниках было установлено, что часть раствора соли теряется со шламовым стоком [5]. Были проведены производственные испытания на модульной установке фирмы Flottweg с декантером Z-4 [6] по разделению образующегося на отстойниках шламового стока. Применение современного оборудования позволяет снизить потери раствора соли на 20 %. Кроме этого, образующийся сухой осадок легче транспортируется. На рис. 1 показана работа этой установки по выделению раствора из шламового стока.



Рис. 1. Фрагмент испытания модульной установки

Основной стадией производства каустической соды диафрагменным методом является

стадия выпаривания, включающая большое количество теплообменного оборудования, иногда с большим сроком эксплуатации, что предполагает их низкую энергоэффективность.

В прямоточных выпарных установках наиболее широкое применение нашли выпарные аппараты с подвесной греющей камерой и аппараты с принудительной циркуляцией (АПЦ) раствора [7].

Фирмой Альфа Лаваль Поток предложена выпарная установка (ВУ) для концентрирования каустической соды на пластинчатых теплообменниках типа AlfaVAP [8], а фирмой МАШИМПЭКС пластинчатые теплообменники-испарители CONCITERM СТ 193 [9]. Применение этого оборудования позволяет не только повысить качество получаемого продукта и снизить его потери, но и уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы до 30 % [10].

Замена, например, на 1-й ступени трехкорпусной противоточной выпарной установки стандартного АПЦ с вынесенной греющей камерой на установку обратного осмоса позволяет экономить до 20 % водяного пара и до 5 % электроэнергии [11].

Высокая стоимость зарубежных энергосберегающих выпарных аппаратов вызвала необходимость создания отечественного оборудования последнего поколения по техническим характеристикам соответствующего импортным аналогам: энергопотребление – не более 0,12 кВт/л дистиллята, отсутствие потребности в греющем паре и охлаждающей воде [12].

Для оптимизации работы оборудования стадии выпаривания каустической соды были проведены многовариантные технико-экономические расчеты, позволяющие определить основные параметры технологического процесса, выбрать тип аппаратов и рассчитать необходимое число корпусов выпарной установки для заданной производительности при минимальных энергозатратах [13].

Выбор оптимального режима 4-корпусной установки для выпаривания каустической соды за счет отбора экстра-пара после первого корпуса проводился с помощью программы, разработанной авторами [4] в соответствии с алгоритмом, представленном на рис. 2.

Расчетная схема 4-корпусной выпарной установки с отбором экстра-пара, показанная на рис. 2, получена на основании анализа производства КС, состоящего из 3-корпусных ВУ (3 линии) с выпарными аппаратами с подвес-

ными греющими камерами и четвертого аппарата АПЦ. Температуры полученного экстра-

пара после первого корпуса достаточно для проведения процесса выпаривания на АПЦ.

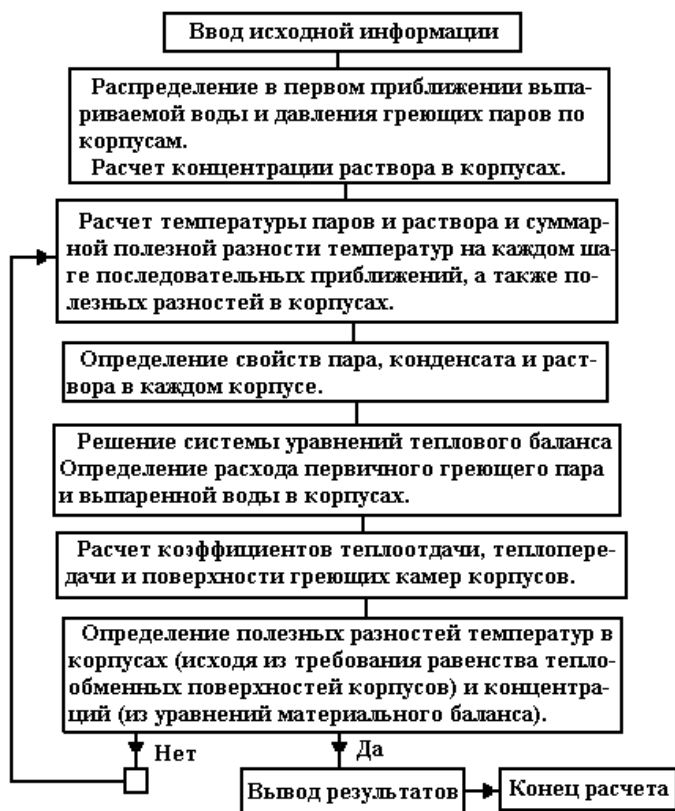


Рис. 2. Алгоритм расчета выпарной установки

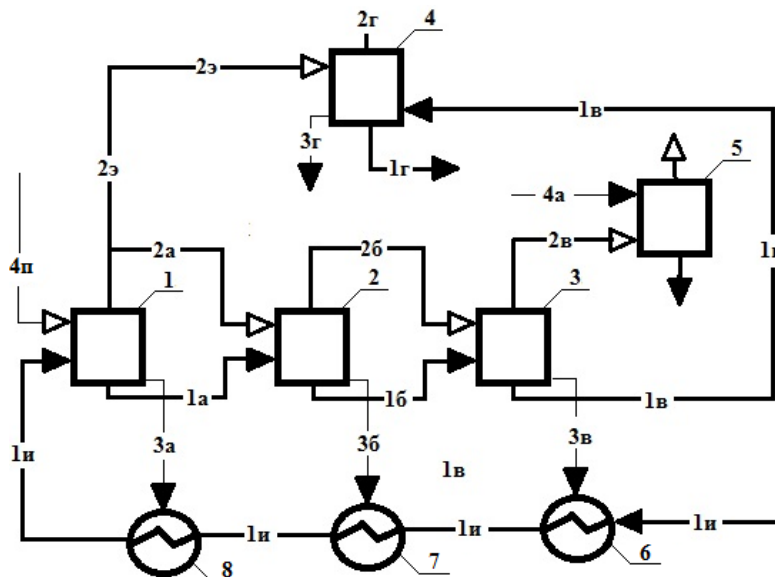


Рис. 3. Расчетная схема процесса выпаривания:

1, 2, 3, 4 – выпарные аппараты; 5 – барометрический конденсатор; 6, 7, 8 – теплообменники.

Потоки: $1u$, $1a$, $1b$, $1v$, $1z$ – соответственно исходный раствор, упаренный раствор после первого, второго, третьего и четвертого корпуса; $2a$, $2b$, $2v$, $2z$ – соответственно вторичный пар после первого, второго, третьего, четвертого корпуса и экстрапар после первого корпуса; $3a$, $3b$, $3v$, $3g$ – соответственно конденсат после первого, второго, третьего и четвертого корпуса; $4n$ – первичный греющий пар; $4a$ – вода

Греющий пар с давлением $P = 9$ ата подается на первые корпуса триплексов и греющий пар (экстра-пар) давлением $P = 3$ ата на АПЦ.

Моделирование процесса выпаривания КС

для 4-корпусной установки с отбором экстра-пара проводилось по исходным данным, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Исходные данные	Данные по корпусам			
	1	2	3	4
1. Производительность по исходному раствору, кг/с	10,27			
2. Давление первичного греющего пара, кгс/см ²	9,17			
3. Состав исходного раствора, % масс. NaOH NaCl Na ₂ SO ₄ H ₂ O	10,00 15,00 1,13 73,87		30,00	46,50
4. Температура кипения исходного раствора, °C	115,00			
5. Давление в барометрическом конденсаторе, кгс/см ²	0,20			

Результаты моделирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета на ЭВМ

Расчетные данные	Данные по корпусам			
	1	2	3	4
1. Производительность, кг/с				
– по выпаренной влаге	2,41	1,37	1,70	1,18
– по упаренному раствору	7,25	5,54	3,42	2,16
– по осадку	0,60	0,34	0,42	0,26
2. Температура греющего пара, °C	175,09	133,28	104,02	133,28
3. Количество первичного греющего пара, кг/с	3,29	-	-	1,40
4. Температура кипения раствора, °C	153,08	124,63	86,75	105,39
5. Полезная разность температур, °C	22,01	8,65	17,27	27,89
6. Тепловая нагрузка, кВт	6711	2197	3072	3056

При выпаривании 10,2657 кг/с исходного раствора с отбором экстра-пара после первого корпуса количество вторичного пара – 1,40 кг/с. Производительность выпарной установки по конечному раствору – 2,1612 кг/с. Общая тепловая нагрузка составляет 15036 кВт, средняя разность температур 87,4 °C, расход первичного греющего пара 3,2927 кг/с.

Стадия охлаждения раствора каустической соды после 4-го корпуса ВУ определяет качество готового продукта по содержанию соли NaCl и других примесей, так как их концентрация зависит от взаимной растворимости со-

ли NaCl, гидроксида натрия в воде при различной температуре. Авторы рассчитали минимальный диаметр кристаллов соли NaCl, осаждающиеся в растворе [14] при разных температурах.

Производственные испытания осветлителей типа ОГШ (г. Сумы) по отделению раствора КС от кристаллов соли показали низкую эффективность, поэтому были рекомендованы усовершенствованные авторами гидродинамические фильтры (ГДФ) непрерывного действия [15] (поз. 4 на рис. 4), позволяющие снизить содержание частиц соли в готовом продукте.

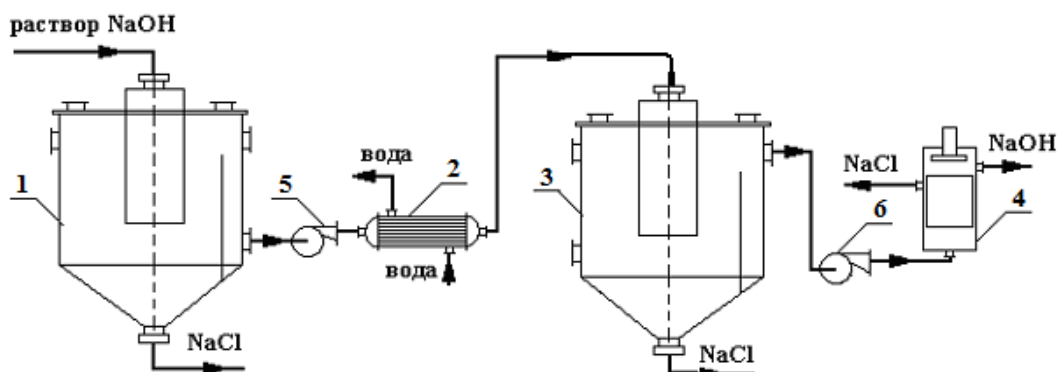


Рис. 4. Предлагаемая схема охлаждения каустика:

1 – отстойник горячего каустика; 2 – холодильник; 3 – отстойник; 4 – фильтр; 5, 6 – насосы

Таким образом, полученные результаты проведенных исследований позволяют оптимизировать работу оборудования на трех стадиях в производстве КС. Установка на стадии растворения соли декантера Z-4 обеспечит уменьшение потерь раствора соли на 20 % и снизит количество отходов. При моделировании процесса выпаривания, за счет увеличения давления греющего пара до 9 ата и использования экстра-пара с первого корпуса ВУ на АПЦ, снижается расход греющего пара на 20 т/ч. А применение на стадии охлаждения ГДФ позволит получить КС с концентрацией NaCl не более 1,6–1,8 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обзор рынка каустической соды (жидкой и твердой) в России. – Режим доступа: http://www.infomine.ru/files/catalog/89/file_89.pdf (дата обращения август 2021 г.).
2. Якименко, Л. М. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлорпродуктов / Л. М. Якименко, М. И. Пасманик. – М.: Химия, 1976. – 599 с.
3. ГОСТ Р 55064-2012. Натр едкий технический. Технические условия. – Введ. 14.10.2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 45 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
4. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020614401 от 8 апреля 2020 г. Российская Федерация. Программа для расчета и выбора выпарных аппаратов в четырехкорпусной установке с оптимизацией энергозатрат за счет отбора экстра-пара / Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов, А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, О. А. Залипаева, К. В. Черикова; ФГБОУ ВО «Волгоградский гос. технический ун-т». – 2020.
5. Федотов, В. В. Оптимизация процесса очистки исходного рассола в отстойниках Дорра в производстве каустической соды / В. В. Федотов, Н. В. Шибитова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4 (часть 2). – С. 305 - 306.
6. Шибитов, Н. С. Промышленные испытания декантерной установки фирмы «Флоттвег» на шламовых сточных водах ОАО «Химпром» (г. Волгоград) / Н. С. Шибитов, Н. В. Шибитова, Н. В. Воронович // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 3). – С. 42–46.
7. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник : в 2 кн. / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов и др. ; под ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Университетская книга, 2006.
8. Выпарные аппараты AlfaVap и конденсаторы AlfaCond. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.evenprom.ru/6.htm> (дата обращения 20.08.21 г.).
9. Технология выпаривания. – Режим доступа: http://www.geawiegand.com/geawiegand/cmsresources.nsf/filename/s/Evaporation_Technology_Wiegand_ru.pdf (дата обращения 20.08.21 г.).
10. Новоженен, А. В. Модернизация установки выпаривания каустической соды / А. В. Новоженен, Н. В. Шибитова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 12 (часть 1). – С. 114.
11. Совершенствование процесса выпаривания производства соды каустической на примере ОАО «Каустик» / А. Е. Новиков, М. И. Ламскова, М. И. Филимонов, П. О. Цыбин // Аспирант. – 2016. – № 3. – С. 113 - 115.
12. Выпарные аппараты с рекомпрессией водяного пара – энергосберегающая технология и оборудование (ЭСВА) / А. А. Поворов, В. Ф. Павлова, Н. В. Корнилова, Н. А. Шиненкова // Мир гальваники, 2015. – Режим доступа: <http://zaobmt.com/index.php/articles/153> (дата обращения 10.09.21 г.).
13. Повышение эффективности выпарных установок производства каустической соды / Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов, А. Б. Голованчиков, Г. Б. Кутузова // Взаимодействие предприятий и вузов – наука, кадры, новые технологии : сб. докл. X межрегион. науч.-практ. конф. (г. Волжский, 29 апр. 2014 г.) / ВолгГТУ, ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 170–174.
14. Шибитов, Н. С. Оптимизация процесса охлаждения каустической соды / Н. С. Шибитов, Н. В. Шибитова, Д. А. Баев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (104) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; Вып. 6). – С. 39–41.
15. П. м. 135528 РФ, МПК B01D29/64. Фильтр гидродинамически самоочищающийся / Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов, А. Б. Голованчиков, Д. А. Баев; ВолгГТУ. – 2013.

УДК 676.056.521.3

*Л. С. Рева, П. С. Васильев, А. А. Шурак***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООТДАЧИ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: a-shurak2@mail.ru

Предложена экспериментальная установка для исследования теплоотдачи в горизонтальном пучке труб, погруженном в псевдоожиженный слой.

Ключевые слова: псевдоожиженный слой, теплоотдача.

*L. S. Reva, P. S. Vasiliev, A. A. Shurak***EXPERIMENTAL SETUP FOR RESEARCH HEAT TRANSFER
IN THE FLUIDIZED BED****Volgograd State Technical University**

An experimental setup is proposed for studying heat transfer in a horizontal tube bundle immersed in a fluidized bed.

Keywords: fluidized bed, heat transfer.

Изучение процесса теплообмена поверхностей нагрева, помещенных в слой мелкозернистого материала, который пронизывается потоком сплошной среды (газом или жидкостью), причем зернистый материал мог находиться как в неподвижном, так и в псевдоожиженном состоянии, посвящено большое количество научных работ [1–4]. Эти научные исследования позволили разработать технологии и создать промышленные аппараты с использованием зернистого материала, такие как сушка в кипящем слое [1, 5], теплообменники с псевдоожиженной зернистой насадкой [2, 3, 6], каталитические процессы [4] и др.

Теплообменники со слоем мелкозернистого материала, псевдоожижаемым восходящим потоком жидкого теплоносителя, показали свою высокую эффективность в процессе промышленной эксплуатации. Однако при этом выявились и некоторые недостатки, такие как повышенный износ теплообменных поверхностей (труб), выполненных из углеродистой стали обыкновенного качества и малоэффективное использование охлаждающей оборотной воды, связанное с небольшим изменением ее температуры, на входе и выходе из теплообменника, что в свою очередь приводит к повышенному ее расходу.

В настоящее время в связи с возрастающими требованиями к энерго- и ресурсосбережению актуальным является необходимость устранения озвученных выше недостатков. Одним из возможных вариантов в решении данной проблемы

является использование в теплообменниках пульсирующей подачи жидкого теплоносителя, приводящего слой зернистого материала в возвратно-поступательное движение [7].

Для изучения теплообмена трубного пучка теплообменника со слоем мелкозернистого материала была создана установка, схема которой представлена на рис. 1. Установка состоит из экспериментального аппарата 1, представляющего собой фрагмент трубного пучка промышленного теплообменника, изготовленного из органического стекла с внутренним сечением прямоугольника 200×100 мм и высотой 1170 мм. Внутри находится сменный трубный пучок 2, в качестве одной из труб которого применялся специальный нагревательно-измерительный элемент 3, моделирующий реальную трубу теплообменника. Питание элемента осуществляется от источника постоянного тока 4, регулировка и контроль нагрузки производится с помощью реостата 5, амперметра 6 и вольтметра 7. Измерение температур поверхности измерительной трубки осуществляется хромель-копелевыми термопарами на 12-точечном потенциометре КСП-4 8.

В гидравлическую схему установки входят центробежный насос 9, вентиль 10, напорный 11 и всасывающий 12 трубопроводы, расходомерная труба Вентури 13, U-образный водяной дифманометр 14 для малых расходов и ртутный дифманометр 15 для больших расходов воды. Контроль температуры охлаждающей воды осуществляется потенциометром 8 и контроли-

руется ртутным термометром 16. Подача воды осуществляется из накопительной емкости 17. Для создания пульсирующей подачи воды на входе в экспериментальный аппарат располага-

ется насос-пульсатор 18 с приводом 19, обеспечивающим поддержание постоянного крутящего момента и позволяющим менять амплитуду и частоту пульсации.

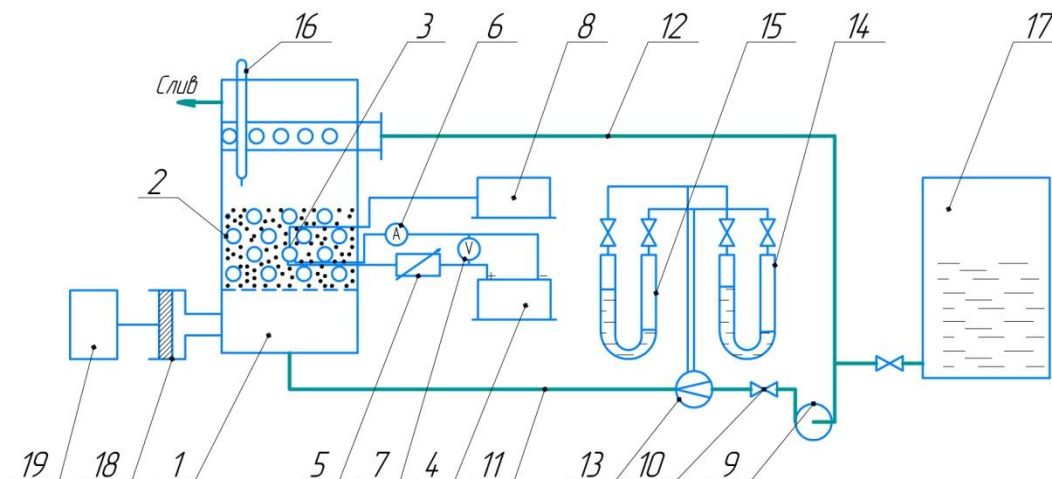


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:

1 – экспериментальный аппарат; 2 – трубный пучок; 3 – нагревательно-измерительный элемент; 4 – источника постоянного тока; 5 – реостат; 6 – амперметр; 7 – вольтметр; 8 – потенциометр КСП-4; 9 – центробежный насос; 10 – вентиль; 11, 12 – напорный и всасывающий трубопровод; 13 – расходомерная труба Вентури; 14, 15 – U-образный водяной и ртутный дифманометр; 16 – ртутный термометр; 17 – накопительная емкость; 18 – насос-пульсатор; 19 – привод

Схема измерительной трубки показана на рис. 2. На наружной поверхности толстостенной трубки 1, изготовленной из диэлектрического и теплоизоляционного материала, равномерно по окружности вдоль компонентов наклеены 11 одинаковых тонкостенные полоски 2 из нержавеющей фольги, последовательно соединенные с медными шинами 3.

Под каждую полоску заделаны хромель-копелевые термопары 4, электрически изолированные от токонесущих полосок тонким слоем

слоюды. Термопары выведены на 12-точечный автоматический потенциометр.

Следует отметить, что основным преимуществом созданной установки является то, что размеры исследуемых труб соответствуют размерам труб фактически используемым в промышленных теплообменных устройствах. Применение постоянного тока в нагревательных элементах позволяет исключить индукционные наводки на термопары и тем самым повысить надежность экспериментальных данных.

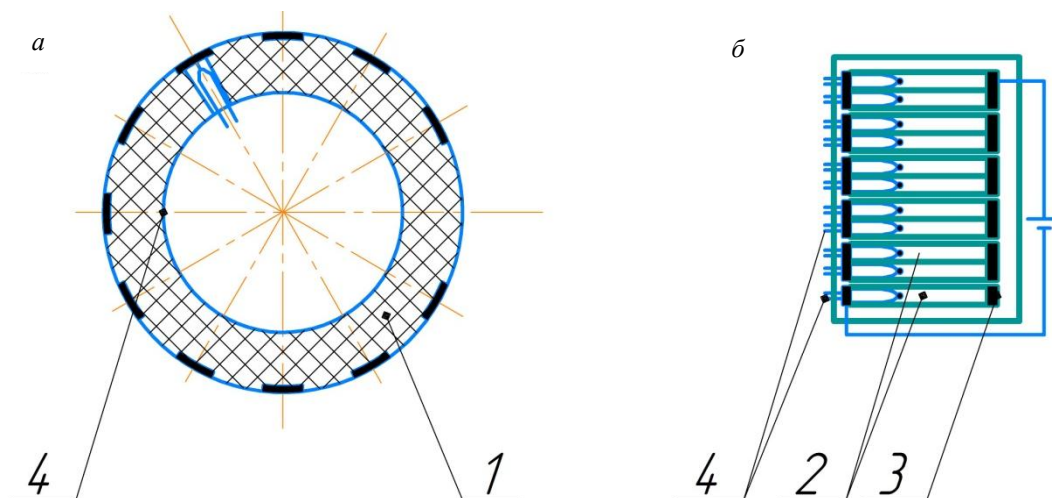


Рис. 2. Схема нагревательной трубки:

а – сечение трубки; б – развертка нагревательной поверхности;

1 – толстостенная трубка; 2 – тонкостенные полоски; 3 – медные шины; 4 – хромель-копелевые термопары

В качестве оживающего агента применялась вода, скорость которой, отнесенная ко всему сечению аппарата, изменялась от 0 до 0,25 м/с. Температура воды регулировалась расходом воды, подаваемой из водопровода, и стоком соответствующего ее количества из системы. В качестве твердых частиц использовались песок, фарфоровые, стальные и свинцовые шарики различных диаметров от 0,5 до 5 мм. Плотность применяемых частиц изменялась в пределах от 2500 до 11000 кг/м³. Нагревательные элементы были рассчитаны на тепловую нагрузку до 50 кВт на квадратный метр теплоотдающей поверхности. Профиль температур по окружности трубы замерялся с помощью 11 термопар и непрерывно записывался 12-точечным электронным автоматическим потенциометром. Величина тепловой нагрузки нагревательного элемента определялась показаниями вольтметра и амперметра. Локальные значения коэффициентов теплоотдачи рассчитывались по следующей формуле:

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{F_i \cdot \Delta t_i},$$

где $i = 1, 2, \dots, 11$; α_i – локальный коэффициент теплоотдачи; F_i – площадь теплоотдачи пластины нагревательного элемента; Δt_i – разность температур поверхности нагревательного элемента и псевдоожижающей воды; Q_i – тепловая нагрузка на каждую пластину нагревательного элемента.

Созданная экспериментальная установка для определения коэффициентов теплоотдачи в трубном пучке теплообменника со слоем зер-

нистого материала, помещенного в его межтрубное пространство и пронизываемого входящим потоком воды, за счет регулирования расхода подаваемой воды обеспечивает возможность изучения теплообмена как и вообще без расхода воды, так и с подачей воды со скоростями меньшими скорости начала псевдоожижения, и в режиме псевдоожижения применяемых частиц зернистого материала. При наложении пульсации появляется возможность исследования теплообмена в пульсирующем слое зернистого материала. Использование разработанной измерительной трубки также позволяет фиксировать профиль температур по окружности трубы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сажин, Б. С. Научные основы техники сушки / Б. С. Сажин, В. Б. Сажин. – М.: Наука. – 1997. – 448 с.
2. Гельперин, Н. И. Основы техники псевдоожижения / Н. И. Гельперин, В. Г. Айнштейн, В. Б. Кваша. – М.: Химия, 1967. – 664 с.
3. Тодес, О. М. Аппараты с кипящим зернистым слоем: гидравлические и тепловые основы работы / О. М. Тодес, О. Б. Цитович. – Л.: Химия, 1981. – 296 с.
4. Членов, В. А. Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 339 с.
5. П. м. № 204191 РФ, МПК F26B17/24, F26B3/092. Сушилка пульсирующего слоя / А. Б. Голованчиков, А. А. Шурак, Н. А. Меренцов, В. С. Пересыпкин, Н. В. Харланов. – заявл. 10.02.2021; опубл. 14.05.2021.
6. П. м. № 206081 РФ, МПК B01D1/22. Испаритель / Л. С. Рева, П. С. Васильев, С. Л. Рева, А. Б. Голованчиков, А. А. Шурак, А. А. Ежиков. – заявл. 16.03.2021; опубл. 19.08.2021.
7. Редько, А. А. Интенсификация теплообмена в высокотемпературном кипящем слое / А. А. Редько, И. А. Редько // Промысловый транспорт. – 2017. – № 5 (71). – С. 79–86.

УДК 66.047.596

А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, А. А. Шурак

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ ДИСКОВОЙ СУШИЛКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ ПРОДУКТОВ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: natasha292009@yandex.ru

В работе проведен анализ современной технологии производства сухих молочных продуктов. Для увеличения производительности предлагается изменить конструкцию распылительной дисковой сушилки, а именно выполнить распылительный диск и коническую обечайку из материала, обладающего эффектом памяти формы. Это обстоятельство позволит при их охлаждении изменять свою форму, что приведет к растрескиванию и отклеиванию прилипших частиц высушиваемого материала и других термических отложений.

Ключевые слова: сушка, сыпучие продукты, распылительная сушилка, эффект памяти формы, сухое молоко.

A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko, A. A. Shurak

DESIGN DEVELOPMENT OF A SPRAY DISC DRYER FOR THE PRODUCTION OF DRY PRODUCTS

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the modern technology for the production of dry milk products. To increase productivity, it is proposed to change the design of the spray disc dryer, namely to make the spray disc and the conical shell of a material with a shape memory effect. This circumstance will allow, when they are cooled, to change their shape, which will lead to cracking and peeling of adhered particles of the material to be dried and other thermal deposits.

Keywords: drying, bulk products, spray dryer, shape memory effect, milk powder.

В новых экономических условиях предприятия по переработке сырья животного происхождения и торговые предприятия находятся в стадии становления и совершенствования технологических процессов, что негативно отражается на качестве молочных продуктов питания. Важным условием при производстве сухих молочных продуктов является качество сырья, соблюдение технологии их производства и условий хранения, использование надежной тары. В связи с этим актуальность данной работы обусловлена необходимостью усовершенствования технологической линии производства сухих молочных продуктов.

Целью работы является проведение анализа технологии производства сухих молочных продуктов с последующей модернизацией распылительной дисковой сушилки.

При производстве сухого молока лидирующее место занимают распылительные сушилки. Данные сушилки получили более широкое распространение для сушки жидких продуктов, таких как молоко, желатин, альбумин.

Сушка предназначена для получения молочного продукта с концентрацией сухих веществ не менее 96 %. Молоко обычно сушат в контактных или в распылительных сушильных установках. В контактных сушилках молоко высыхает при непосредственном контакте с горячей поверхностью барабанов (вальцов). В зависимости от конструкции этих сушилок молоко можно сушить при атмосферном давлении при температуре 110–130 °С и в вакууме при температуре 60–70 °С [1].

В качестве сушильного агента, используют водяной пар, подаваемый во внутреннюю часть барабанов и нагревающий их рабочие поверхности. В распылительных сушильных установках молоко диспергируется с помощью вращающихся дисков или форсунок до мелких капель. Увеличение удельной поверхности продукта при сушке позволяет интенсифицировать выделение влаги. Вследствие малого размера капель молока (40–50 мкм) поверхность влаго-

обмена достигает 150–250 м² на один кубометр сушильной камеры, поэтому продолжительность сушки не превышает 4–6 с [2].

Технологический процесс производства сухого молока включает следующие операции: приемку, очистку, охлаждение, хранение, стандартизацию, пастеризацию, предварительное сгущение, гомогенизацию и сушку.

На рис. 1 представлена машинно-аппаратурная схема линии производства сухих молочных продуктов. После проверки качества, учета, очистки и охлаждения сырое молоко загружают в приемные резервуары 1. На переработку сырое молоко перекачивают центробежным насосом 2 через пластинчатый подогреватель 3, сепараторы-молокоочистители 4 в сепаратор-нормализатор 5. Нормализацию молока проводят, добавляя в него сливки, обезжиренное молоко или пахту. В нормализованной молочной смеси соотношение жира и сухого молочного обезжиренного остатка должно быть таким же, как и в готовом продукте. Нормализованное молоко из резервуара 6 перекачивают в пастеризационно-охладительную установку 7. Молоко пастеризуют при температуре 95 °С без выдержки, фильтруют и загружают в расходные резервуары 8. Молоко сгущают в вакуум-выпарной установке пленочного типа. В состав установки входят три греющие камеры 10 с сепараторами-пароотделителями 11, трубчатые подогреватели 13 и 14, продуктопровод с насосами 12, система подачи греющего пара 9, конденсатор 17 с пароструйными насосами 18 и насосы для перекачки сгущенного молока 15 и конденсата 16. Для выпаривания молоко подается насосом сверху в трубы греющей камеры 10 и стекает вниз, образуя на внутренней поверхности трубок тонкую пленку. Греющий пар поступает в межтрубное пространство, нагревает продукт до температуры кипения.

Парожидкостная смесь продукта из нижнего сечения греющей камеры поступает в сепаратор-пароотделитель 11. Из последней (третьей) камеры сгущенное молоко перекачивается

насосом 15 в промежуточный бак 19, а вторичный пар поступает в конденсатор 17, превращается в жидкость и перекачивается насосом 16 в систему сбора конденсата. С целью предупреждения отстоя жира сгущенное молоко гомогенизируют. Эту операцию проводят в двухступенчатом гомогенизаторе 20 клапанного типа. Продукт подогревают до 55–60 °С и гомогенизируют при рабочем давлении 11,5–12,5 МПа на первой ступени и 2,5–3,0 МПа на второй ступени. Гомогенизированное сгущенное молоко фильтруют и накапливают в ванне с мешалкой 21. На сушку сгущенное молоко подают шестеренным насосом 22, пропуская через

распылительный диск 24 для диспергирования. Распыленный продукт в рабочем объеме сушильной башни 25 высушивается в атмосфере горячего воздуха, нагнетаемого через калорифер 23. Температура воздуха, поступающего в сушильную башню, 165–180 °С, а отработанного воздуха – 65–85 °С. Сухое молоко выгружают из башни 25 с помощью циклонов 26 и 27, просеивают на сите с размером ячеек 22 мм и охлаждают до 15–20 °С в системе пневмотранспорта 28. Охлажденное сухое молоко фасуют в потребительскую тару с помощью машины 29. Пакеты с молоком укладывают в ящики [3].

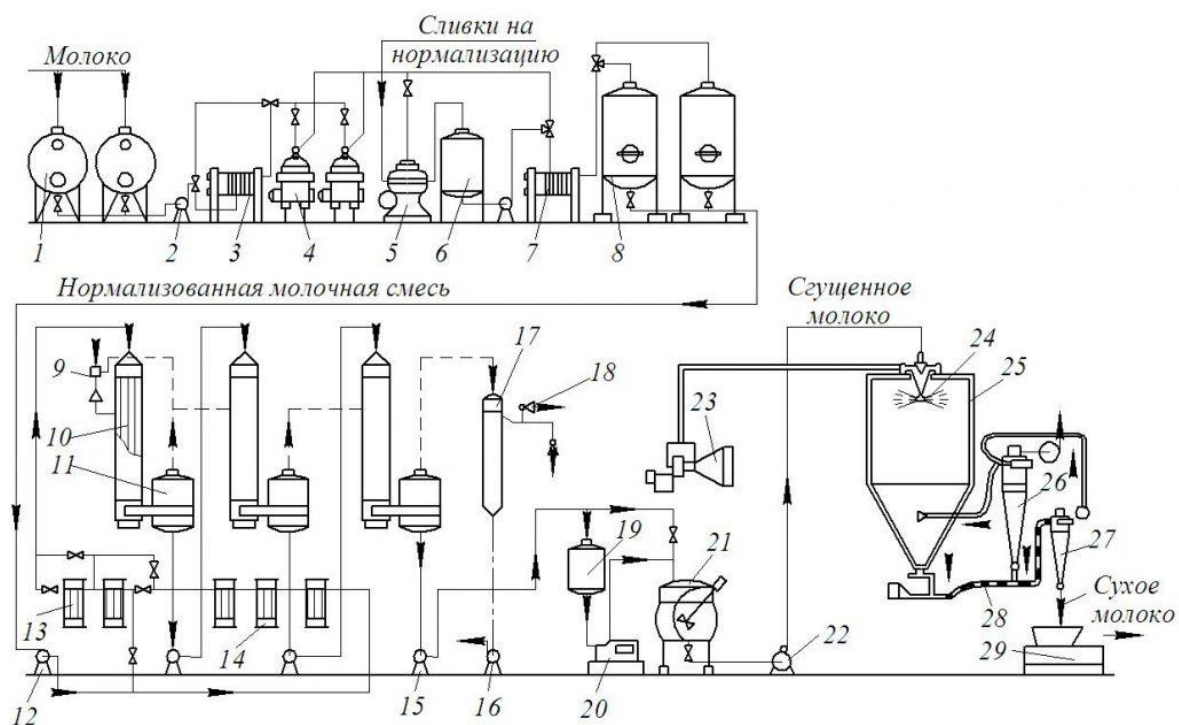


Рис. 1. Машинно-аппаратурная схема производства сухого молока [2]:

1 – приемный резервуар; 2, 12, 15, 16, 18, 22 – насос; 3, 13, 14 – подогреватель; 4 – сепараторы-молокоочистители; 5 – сепаратор-нормализатор; 6, 8 – резервуар; 7 – пастеризационно-охлаждающая установка; 9 – система подачи греющего пара; 10 – греющие камеры; 11 – сепараторы-пароотделители; 17 – конденсатор; 19 – промежуточный бак; 20 – двухступенчатый гомогенизатор; 21 – ванна с мешалкой; 23 – калорифер; 24 – распылительный диск; 25 – сушильная башня; 26, 27 – циклоны; 28 – система пневмотранспорта; 29 – фасовочная машина

Недостатками известных конструкций дисковых распылительных сушилок является сложность удаления налипших на поверхности дискового распылителя и конической обечайки высушиваемых частиц, а также окалины, ржавчины, сажи и других термических отложений, что увеличивает время очистки этих поверхностей и подготовки распылительной сушилки к основному циклу работы, что в итоге приводит к уменьшению производительности.

На основании проведенного патентного поиска была предложена конструкция распыли-

тельной дисковой сушилки (рис. 2) для производства сухих молочных продуктов, которая также может найти применение в химической, нефтехимической, медицинской, фармацевтической, лакокрасочной, пищевой и других отраслях промышленности.

Задачей разработанной конструкции является увеличение производительности за счет выполнения диска и конической обечайки из материала, обладающего эффектом памяти формы. Это обстоятельство позволяет при их охлаждении изменять свою форму, что приво-

дит к растрескиванию и отклеиванию прилипших частиц высушиваемого материала и других термических отложений. При этом будет уменьшаться время подготовки распылительной сушилки для жидких материалов к основному циклу работы, а также увеличиваться основное время работы и производительность [4].

Сушилка работает следующим образом. Снизу подается теплоноситель в корпус 1. Жидкий исходный материал подают сверху через крышку 2. Так как диск 4 и коническая обечайка 5 выполнены из материала, обладающего эффектом па-

мяти формы, то при нагревании они изменяют свою форму и принимают вид, показанный на рис. 2. Проходя через распылитель 3, исходный материал попадает на диск 4, отражается от него и ударяется о коническую обечайку 5. После чего переходит в сухое состояние и ссыпается в нижнюю часть корпуса 1, откуда впоследствии удаляется. После остановки работы распылительной сушилки и прекращения подачи теплоносителя диск 4 и коническая обечайка 5 охлаждаются и принимают первоначальную форму, какую они имели в холодном состоянии.

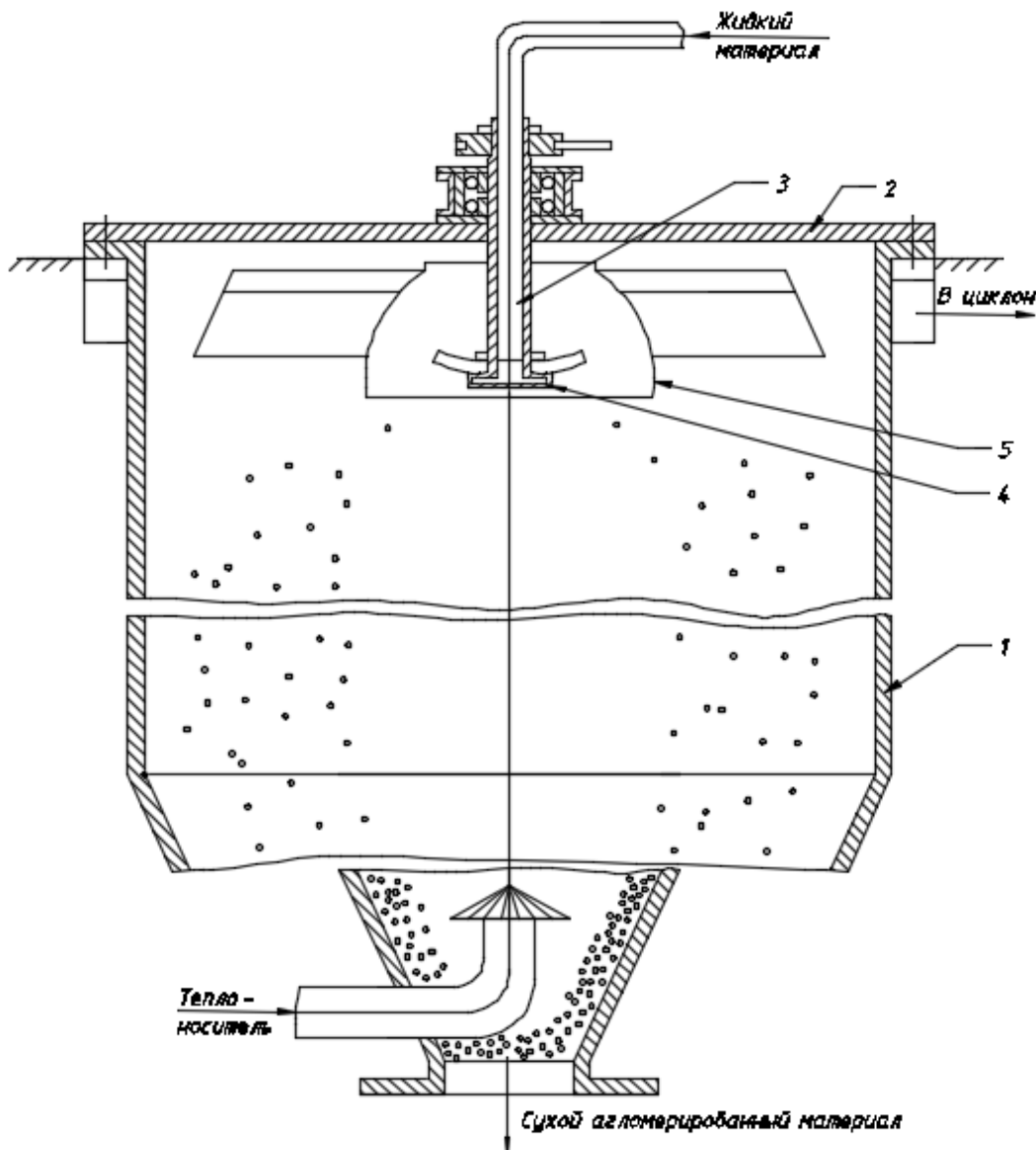


Рис. 2. Распылительная дисковая сушилка для жидких материалов [5]:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – распылитель; 4 – диск; 5 – коническая обечайка

При таком изменении формы этих деталей, налипшие частицы высушиваемого материала и других термических отложений охрупчива-

ются, растрескиваются и отслаиваются. Это облегчает их удаление с очищаемых поверхностей диска 4 и конической обечайки 5, умень-

шает время очистки, а значит, позволяет увеличить время основной работы сушилки и повысить ее производительность [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Репников, В. И. Оценка технологических процессов производства сухого цельного молока / В. И. Репников, Н. М. Беляев // Наука и современность. – 2016. – № 2. – С. 72–76.
2. Машины и аппараты пищевых производств. Т. 2. Машины и аппараты-преобразователи пищевых сред / С. Т. Антипов [и др.]; под ред. В. А. Панфилова, В. Я. Груданова. – Минск: БГАТУ, 2008. – 338 с.
3. Линия производства сухого молока // Пищевик. – Режим доступа: [https://supersteel.ru/catalog/gotovye-reshe-](https://supersteel.ru/catalog/gotovye-reshe)

[niya-tehnologicheskie-linii/liniya_proizvodstva_suhogo_moloka](https://supersteel.ru/catalog/gotovye-reshe-niya-tehnologicheskie-linii/liniya_proizvodstva_suhogo_moloka) (дата обращения 05.10.2019).

4. Лепехина, Д. А. Модернизация конструкции распылительной дисковой сушилки с эффектом памяти для жидких материалов / Д. А. Лепехина, В. В. Чуватова // XXIV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 3–6 декабря 2019 г.): сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; Комитет образования, науки и молодежной политики Волгоградской обл., ГБУ ВО «Центр молодежной политики», Волгоградский гос. технический ун-т. – Волгоград, 2020. – С. 41–42.

5. П. м. № 196301 РФ, МПК F26B17/10, F26B3/12. Распылительная сушилка для жидких материалов / А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, О. А. Залипаева, Д. А. Лепехина, В. С. Пересыпкин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2020.

УДК 66.048.3.069.833

А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, А. А. Шурак

РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ ПРИ АТМОСФЕРНОЙ ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: natasha292009@yandex.ru

В работе рассмотрена технологическая линия атмосферной перегонки нефти. Установлено, что для данной технологии в качестве контактных устройств наиболее целесообразно использовать колпачковые тарелки. Предложена новая конструкция колпачковой тарелки с упругими элементами и выполнен технологический расчет процесса ректификации с использованием новых колпачковых тарелок.

Ключевые слова: ректификация, атмосферная перегонка, нефть, контактное устройство, колпачковая тарелка, массообменная колонна.

A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko, A. A. Shurak

DEVELOPMENT AND CALCULATION OF THE DESIGN OF THE RECTIFICATION COLUMN FOR ATMOSPHERIC OIL DISTRIBUTION

Volgograd State Technical University

The paper considers the technological line of atmospheric distillation of oil. It was found that for this technology it is most expedient to use bubble cap trays as contact devices. A new design of a bubble cap trays with elastic elements is proposed and a technological calculation of the rectification process using new bubble cap trays is performed.

Keywords: drying, rectification, atmospheric distillation, oil, contact device, bubble cap tray, mass transfer column.

В химической технологии широко распространены процессы массопередачи, характеризующиеся переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую. В настоящее время ректификацию все шире применяют в самых различных областях, где выделение компонентов в чистом виде имеет весьма важное значение (в производствах органического синтеза, изотопов, полимеров). Процессы перегонки осуществляется периодически или непрерывно. Процесс ректификации протекает на поверхно-

сти раздела фаз, поэтому аппараты должны обеспечивать развитую поверхность соприкосновения между жидкостью и газом [1–3].

Целью данной работы является разработка тарельчатой ректификационной колонны, предназначенной для использования при атмосферной перегонки нефти.

На атмосферных нефтеперегонных установках нефть или смесь нефти обычно разделяется на четыре дистиллятные фракции и остаток – мазут. Побочным продуктом является

© Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Шурак А. А., 2021.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90002.

смесь углеводородных газов, часто содержащая сероводород, который образуется из нестойких соединений серы при нагреве нефти [4].

Установка, схема которой представлена на рис. 1, двухколонная с двукратным испарением сырья. До поступления в первую ректификационную колонну, называемую также испарительной колонной, нефть нагревается только в теплообменниках, проходя в них одним, двумя или несколькими параллельными потоками. Верхним продуктом первой колонны являются легкая бензиновая фракция и небольшое количество газа. Остальные дистилляты, выводимые с установки, а также мазут образуются во второй колонне. Обе колонны обслуживаются общей трубчатой печью. Часть нижнего продукта испарительной колонны циркулирует между печью и первой колонной, чем достигается снабжение ее отгонной секции дополнительным количеством тепла. Обессоленная нефть, нагнетаемая насосом 8, проходит двумя параллельными потоками группу теплообменников 10, 11, 23, 26, 29, нагревается до температуры 200–220 °С и поступает в среднюю часть колонны 2. Ректификационная колонна 2 работает при избыточном давлении, достигающем на некоторых установках 0,45 МПа [5]. Пары легкого бензина (конец кипения этой фракции в одних случаях равен 85 °С, а в других – 140 или 160 °С) по выходе из колонны 2 конденсируются в аппарате воздушного охлаждения 3. Далее конденсат и сопутствующие газы, охлажденные в водяном холодильнике 4, разделяются в газосепараторе 5. Отсюда легкий бензин насосом 7 направляется в секцию (блок) стабилизации и вторичной перегонки. Часть легкого бензина возвращается как орошение в колонну 2. Из колонны 2 снизу частично отбензиненная нефть забирается насосом 1 и подается в змеевик трубчатой печи 6. Нагретая в змеевиках печи нефть поступает в парожидкостном состоянии в основную ректификационную колонну 14. Верхним продуктом колонны 14 является бензиновая фракция, более тяжелая по сравнению с отводимой с верха испарительной колонны 2. На выходе из колонны 14 пары бензина, а также сопровождающие их водяные пары конденсируются в аппарате воздушного охлаждения 15. Охлажденная в водяном холодильнике 16 смесь разделяется в газосепараторе 17 на газ, водный и бензиновый конденсаты. Жидкая бензиновая фракция из газосепаратора 17 забирается насосом 22 и подается в секцию вторичной перегонки. Часть бензина этим же насосом возвра-

щается в колонну 14, на ее верхнюю тарелку, как орошение. Фракции 140–240 и 240–350 °С (или 140–220 и 220–350 °С) выводятся из отпариваемых колонн 18 и 19, прокачиваются с помощью насосов 20 и 21 и охлаждаются в последовательно соединенных аппаратах. Первая – керосиновая фракция – в теплообменнике 23, аппарате воздушного охлаждения 24 и водяном кожухотрубном холодильнике 25.

На рис. 2 представлен общий вид разработанной и запатентованной тарелки с круглым капсульным колпачком в разрезе, которая может быть использована в технологической схеме атмосферной перегонки нефти. На рис. 3 – вид по сечению А-А снизу на предлагаемую конструкцию кольца из упругого материала, из которой выполнена нижняя часть круглого капсульного колпачка.

Тарелка состоит из равномерно перфорированного основания 1, патрубков 2, закрепленных в отверстиях перфорированного основания 1 и осесимметрично закрепленных над ними круглых капсульных колпачков 3. Каждый круглый капсульный колпачок 3 закреплен на изогнутом болте 4 с помощью шайб 5 и гаек 6, позволяющих регулировать высоту его расположения над основанием 1. Нижняя часть колпачка 3 выполнена в виде кольца 7 из упругого материала (тонколистовой стали, резины или полимера) с высотой H , и с вертикально равномерно разрезанной боковой поверхностью на полосы 8 шириной b и высотой h , равных 20–45 мм. Каждая полоса 8 повернута относительно боковой поверхности кольца 7 на угол $\alpha = 20\text{--}30^\circ$ внутрь и наружу, с образованием зазоров для барботажа через них пузырьков газа или пара. Круглый капсульный колпачок 3 прикреплен к изогнутому болту 4 с помощью подшипника качения 9 таким образом, что на верхней части болта 4 закреплено внутреннее кольцо подшипника качения 9, на внешнем кольце которого закреплен колпачок 3.

Поступающая жидкость заполняет тарелку. Газ (пар) проходит через патрубки 2 под колпачки 3, затем через зазоры, образованные повернутыми на угол α относительно боковой поверхности кольца 7 полосами 8, входит в виде барботирующих пузырьков в жидкость, движущейся вдоль основания 1 к сливной перегородке. Так как кольцо 7 выполнено из упругого материала, то под действием отрывающихся пузырьков газа (пара) с кромок полос 8, последние постоянно вибрируют, заставляя за счет сил инерции вращаться круглый капсуль-

ный колпачок 3 с подшипником 9 относительно изогнутого болта 4, что увеличивает время пребывания газа (пара) в пленке жидкости, поверхность тепло- и массообмена и приводит к росту скорости тепло- и массообмена, а значит и производительности.

Поэтому закрепление на верхней части болта 4 внутреннего кольца подшипника качения, на внешнем кольце которого закреплен колпа-

чок, позволяет под действием стекающей вниз жидкости и поднимающегося вверх пара приводить в движение колпачок за счет отогнутых полос на $20\text{--}30^\circ$ относительно боковой поверхности кольца, а значит, увеличивать время контакта пузырьков газа с жидкостью. Все вместе это приводит к интенсификации тепло- и массообмена и увеличению производительности [6].

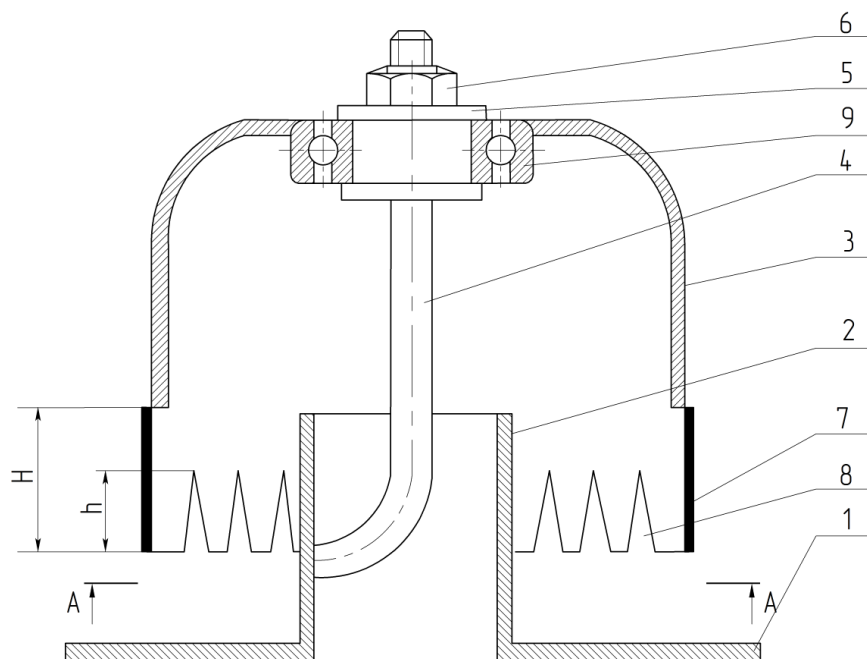


Рис. 2. Тарелка с круглыми капсульными колпачками [6]:
1 – перфорированное основание; 2 – патрубок; 3 – круглый капсульный колпачок; 4 – изогнутый болт; 5 – шайба; 6 – гайка; 7 – кольцо из упругого материала; 8 – полоса разреза; 9 – подшипник качения

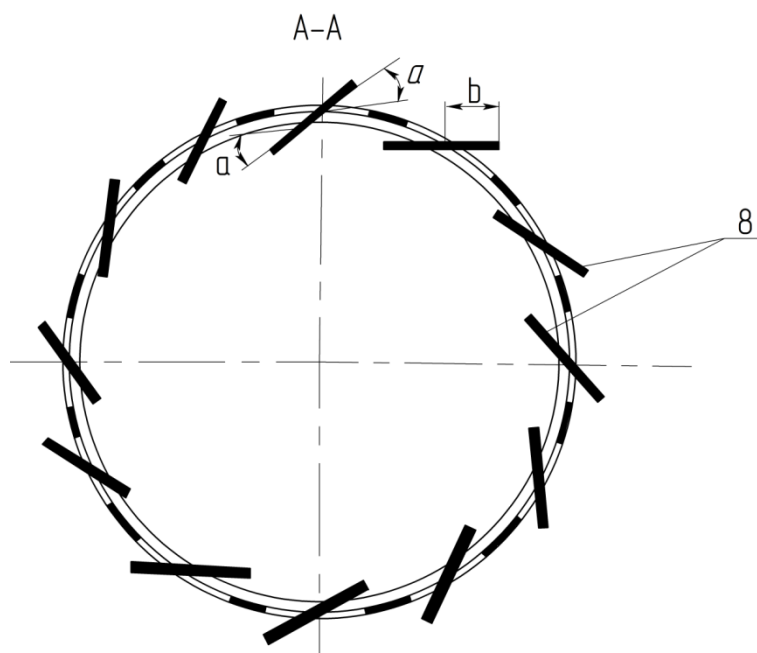


Рис. 3. Вид колпачковой тарелки по сечению [6]

Разработанная и запатентованная колпачковая тарелка (рис. 2) была рассчитана для использования в технологической линии атмо-

сферной перегонки нефти (рис. 1), результаты расчетов представлены в таблице и на рис. 4.

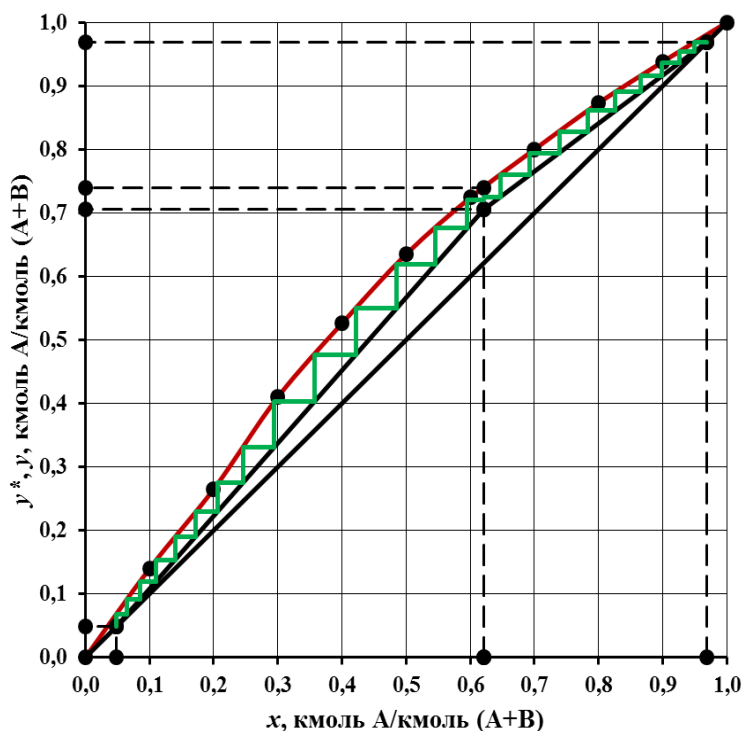


Рис. 4. Рабочие и равновесная линии для исследуемой бинарной смеси

По результатам расчетов на ЭВМ получены следующие основные параметры ректификационной колонны:

- 1) высота исчерпывающей части – 7,602 м;
- 2) высота укрепляющей части – 5,132 м;
- 3) общая высота – 15,734 м;
- 4) диаметр укрепляющей части – 1,462 м;
- 5) диаметр исчерпывающей – 1,443 м;
- 6) общее число тарелок в колонне – 23.

Исходные, справочные данные и расчетные параметры

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
Производительность по исходному раствору	кг/ч	G_F	5000
Абсолютная массовая концентрация легколетучего компонента в исходной смеси	кг А / кг (А+В)	$\bar{X}_F$	0,5
Абсолютная массовая концентрация легколетучего компонента в дистилляте	кг А / кг (А+В)	$\bar{X}_D$	0,95
Абсолютная массовая концентрация легколетучего компонента в кубе	кг А / кг (А+В)	$\bar{X}_B$	0,03
Температура кипения исходной смеси	°С	t_F	121
Температура кипения дистиллята	°С	t_D	100
Температура кипения кубовой жидкости	°С	t_K	250
Начальная температура смеси на входе в колонну	°С	t_H	220
Средняя температура в исчерпывающей части колонны	°С	t_u	185,50
Средняя температура в укрепляющей части колонны	°С	t_y	110,50
Расход дистиллята в колонне	кг/ч	G_D	2554,35
Расход кубовой жидкости в колонне	кг/ч	G_K	2445,65
Абсолютная мольная концентрация легколетучего компонента в исходной смеси	кмоль А / кмоль (А+В)	x_F	0,6211

Окончание таблицы

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
Абсолютная мольная концентрация легколетучего компонента в дистилляте	кмоль А / кмоль (А+В)	x_D	0,9689
Абсолютная мольная концентрация легколетучего компонента в кубе	кмоль А / кмоль (А+В)	x_K	0,0483
Минимальное флегмовое число	—	R_{min}	1,924
Число питания	—	F	1,607
Рабочее (оптимальное) флегмовое число	—	R	3,134
Общее число теоретических тарелок в укрепляющей части колонны (рис. 4)	—	y_n	9,554
Общее число теоретических тарелок в исчерпывающей части колонны (рис. 4)	—	u_n	13,670

Спроектированная тарельчатая ректификационная колонна с колпачковыми тарелками способствует интенсификации процесса ректификации. Также из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что рассчитанная ректификационная колонна удовлетворяет технологической схеме установки атмосферной перегонки нефти и может быть использована в производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев. – Санкт-Петербург: Недра, 2006. – 411 с.
2. Голованчиков, А. Б. Моделирование материального баланса с учетом продольной диффузии в ректификационной колонне / А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко //

Известия ВолгГТУ : научный журнал № 5 (215) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»). – С. 18–21.

3. Голованчиков, А. Б. Моделирование процесса в насадочной ректификационной колонне с диффузионной структурой потока по жидкой фазе / А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – № 3. – С. 8–12.

4. Кузнецов, А. А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. – 2-е изд. перераб. и доп. – Ленинград: Химия, 1974. – 344 с.

5. Бондаренко, Б. И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа / Б. И. Бондаренко. – Москва: Химия, 1983. – 128 с.

6. П. м. № 199354 РФ, МПК В01D 3/20. Тарелка с круглыми капсульными колпачками / А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, Н. В. Шибитова, Ю. В. Еланский, Р. С. Кочарян. – заявл. 23.04.2020; опубли. 28.08.2020.

УДК 697.932

А. Б. Голованчиков, А. А. Шурак, Н. А. Меренцов

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ПАРОВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: a-shurak2@mail.ru

Проводится моделирование, алгоритм и пример расчета пароувлажнителя воздуха в помещении в двух режимах работы: изотермическом, когда влагосодержание и относительная влажность воздуха увеличивается при постоянной температуре воздуха, и политропном, когда одновременно необходимо увеличить влагосодержание и температуру воздуха. Определяются для обоих примеров расход пара, затраты энергии и время работы пароувлажнителя. Показано, что при одинаковом увеличении влагосодержания и росте температуры на 5 градусов в политропном режиме расход электроэнергии и времени работы пароувлажнителя вырастает на 37 %.

Ключевые слова: влагосодержание, относительная влажность воздуха, энтальпия, расход пара, затраты энергии, затраты времени, изотермический режим, политропный режим.

A. B. Golovanchikov, A. A. Shurak, N. A. Merentsov

MODELING AND CALCULATION OF THE PROCESS OF STEAM HUMIDIFICATION OF THE AIR IN THE ROOM UNDER VARIOUS OPERATION MODES

Volograd State Technical University

Simulation, an algorithm and an example of calculating a steam humidifier in a room in two operating modes are carried out: isothermal, when the moisture content and relative humidity of the air increase at a constant air temperature and polytrophic, when it is simultaneously necessary to increase the moisture content and air temperature. For both examples, steam consumption, energy consumption and operation time of the steam humidifier are determined. It is shown that with the same increase in moisture content and an increase in temperature by 5 degrees in the polytropic mode, the power consumption and the operating time of the steam humidifier increase by 37 %.

Keywords: moisture content, relative air humidity, enthalpy, steam consumption, energy consumption, time consumption, isothermal regime, polytrophic regime.

Согласно нормативам в помещениях с постоянным пребыванием людей необходимо поддерживать не только определенную температуру, но и влажность. Пароувлажнение – это процесс смешения водяного пара с потоком воздуха. При политропном увлажнении энер-

гия, подводимая от электросети, направляется на образование пара и нагрев жидкости, в то время как при изотермическом нагреве только на парообразование.

Исходные и справочные данные приведены в табл. 1 [1].

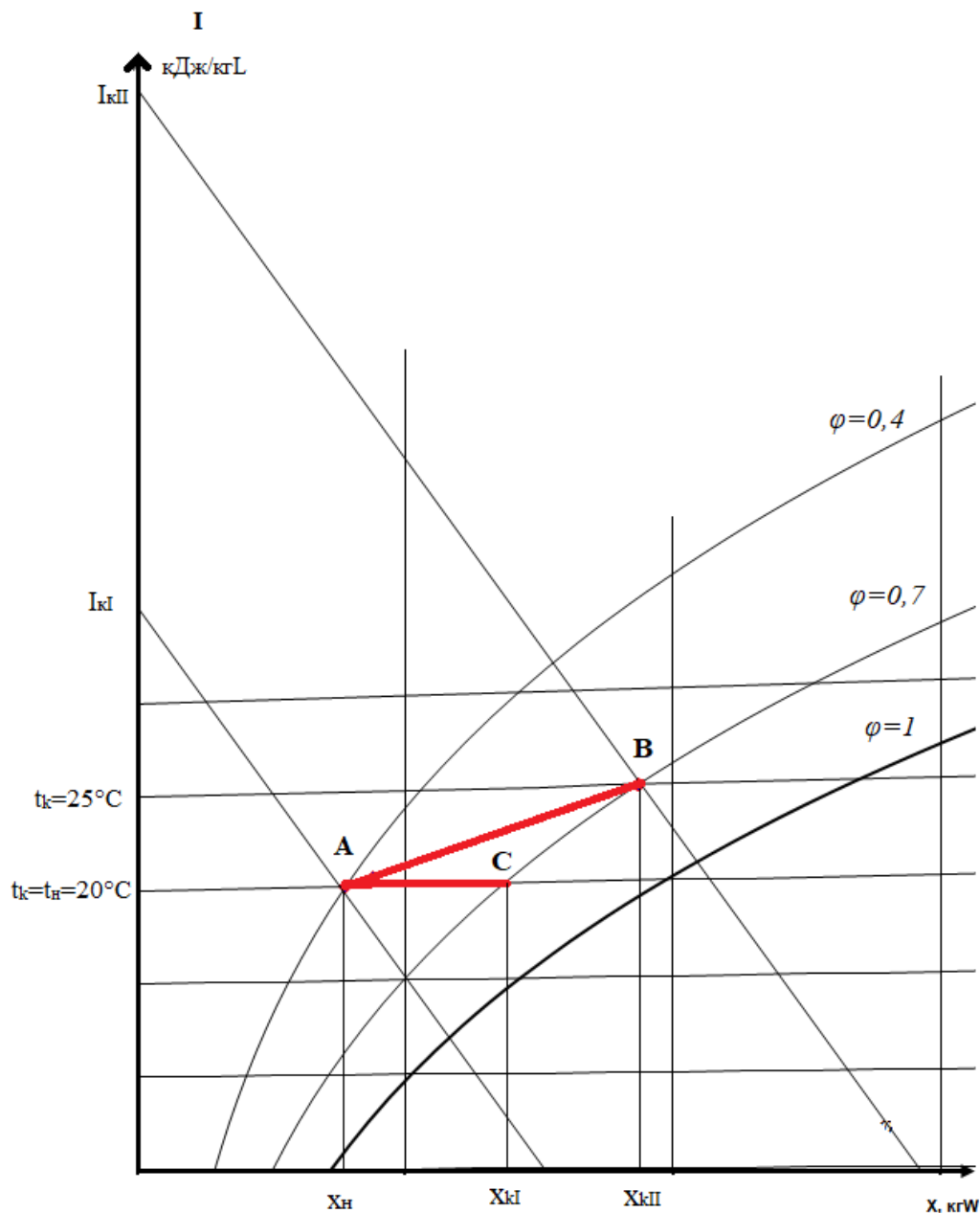
Таблица 1

Исходные, справочные данные процесса пароувлажнения

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
Исходные данные			
1. Давление в помещении	ата	p	1,033
2. Температура в помещении	°C	t_n	20
3. Объем воздуха в помещении	м ³	V	200
4. Давление пара	ата	p_d	1,033
5. Температура пара	°C	t_d	100
6. Начальная относительная влажность воздуха	доли	y_n	0,4
7. Рекомендуемая относительная влажность воздуха	доли	y_k	0,7
Справочные данные			
1. Удельная теплота парообразования при 0 °C	кДж/кг	r_0	2493
2. Теплоемкость сухого воздуха	кДж/(кг·K)	C	1,01
3. Теплоемкость пара	кДж/(кг·K)	C_d	1,97
4. Плотность воздуха в помещении	кг/м ³	ρ	1,2
5. Мощность электрокалорифера	кВт	N	0,5
6. Коэффициент полезного действия	–	η	0,95
Варьируемые параметры			
1. Конечная температура воздуха при изотермическом пароувлажнении	°C	t_{k1}	20
2. Конечная температура воздуха при политропном пароувлажнении	°C	t_{k2}	25

На I-x диаграмме приведены рабочие линии изотермического и политропного процессов увлажнения и нагревания воздуха за счет передачи

пара в помещение из пароувлажнителя (см. рисунок), где отрезок А-В соответствует политропному режиму, а отрезок А-С – изотермическому.



I-x диаграмма процесса пароувлажнения при политропном (А-В) и изотермическом (А-С) режиме работы

Алгоритм расчета:

I. Изотермический процесс: $t_n = t_k = 20^\circ\text{C}$

1. Влагосодержание воздуха в помещении до увлажнения (при 20°C и $p_n = 0,0238\text{at}$):

$$x_n = 0,622 \varphi_n p_n / (1,033 - \varphi_n p_n) = 0,0056 \frac{\text{кгВ}}{\text{кгЛ}};$$

2. Влагосодержание воздуха в помещении после увлажнения:

$$x_k = 0,622 \varphi_k p_n / (1,033 - \varphi_k p_n) = 0,012 \frac{\text{кгВ}}{\text{кгЛ}};$$

3. Количество пара, которое надо подать в воздух помещения, чтобы повысить отно-

сительную влажность с φ_n до φ_k :

$$G_d = V(x_k - x_n)\rho = 200(0,012 - 0,0056) \cdot 1,2 = 1,54\text{кг}$$

4. Масса сухого воздуха до подачи пара:

$$L = V \cdot \rho = 200 \cdot 1,2 = 240\text{кг};$$

5. Энтальпия воздуха до подачи пара:

$$I_n = c t_n + x_n(c_d t_n + r_0) = 1,01 \cdot 20 + 0,0056(1,97 \cdot 20 + 2493) = 34,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кгЛ}};$$

6. Энтальпия воздуха после подачи пара:

$$I_k = 1,01 \cdot 20 + 0,012(1,97 \cdot 20 + 2493) = 50,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кгЛ}};$$

7. Электрическая энергия, затрачиваемая в пароувлажнителе для превращения воды в пар:

$$E = G_d \cdot I_k = 1,54 \cdot 50,5 = 78,0 \text{ кДж};$$

8. Время превращения воды в пар:

$$\tau = \frac{E}{N \cdot \eta} = \frac{78,0}{0,5 \cdot 0,95} = 185 \text{ с.}$$

II. Политропный процесс:

$$t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_k = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

1. Влагосодержание воздуха после увлажнения при $t_k = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $\phi_k = 0,7$ (давление насыщенных паров $p_n = 0,0323 \text{ ат}$):

$$x_k = 0,622 \cdot 0,7 \cdot 0,0323 / (1,033 - 0,7 \cdot 0,0323) = 0,01415 \frac{\text{кгВ}}{\text{кгЛ}};$$

2. Количество пара, которое надо подать в воздух помещения:

$$G_d = 200(0,01415 - 0,0056) \cdot 1,2 = 1,72 \text{ кг};$$

3. Энтальпия воздуха после подачи пара:

$$I_k = 1,01 \cdot 25 + 0,01415(1,97 \cdot 25 + 2493) = 62,25 \frac{\text{кДж}}{\text{кгЛ}};$$

4. Электрическая энергия, затрачиваемая в пароувлажнителе для превращения воды в пар [2]:

$$E = G_d \cdot I_k = 1,54 \cdot 50,5 = 78,0 \text{ кДж};$$

5. Время превращения воды в пар

$$\tau = \frac{107}{0,5 \cdot 0,95} = 226 \text{ с.}$$

Пятипроцентные потери энергии расходуются на нагревание воздуха в помещении. Для политропного режима – это

$$\Delta E = E \cdot 0,05 = 107 \cdot 0,05 = 5,35 \text{ кДж.}$$

Увеличение температуры воздуха за счет этой энергии составит:

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{c \cdot L} = \frac{5,35}{1,01 \cdot 240} = 0,022 \text{ }^\circ\text{C},$$

то есть могут не учитываться в расчетах.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов изотермического и политропного режимов

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
Расчетные параметры			
1. Влагосодержание воздуха до увлажнения	кгВ/кгЛ	x_n	0,0056
2. Масса сухого воздуха	кгЛ	L	240
3. Энтальпия воздуха до подачи пара	кДж/кгЛ	I_n	34,2
Изотермический процесс ($t_n = t_k = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)			
4. Влагосодержание воздуха после увлажнения	кгВ/кгЛ	x_k	0,012
5. Энтальпия воздуха после подачи пара	кДж/кгЛ	I_k	50,5
6. Количество пара подаваемого из парогенератора	кгД	G_d	1,54
7. Количество энергии затрачиваемое на превращение воды в пар	кДж	E	78
8. Время работы парогенератора	с	τ	185
Политропный процесс ($t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_k = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)			
4. Влагосодержание воздуха после увлажнения	кгВ/кгЛ	x_k	0,01415
5. Энтальпия воздуха после подачи пара	кДж/кгЛ	I_k	62,25
6. Количество пара подаваемого из парогенератора	кгД	G_d	2,042
7. Количество энергии затрачиваемое на превращение воды в пар	кДж	E	107
8. Время работы парогенератора	с	τ	226

Выводы:

1. Процесс пароувлажнения воздуха в помещении возможно вести в двух режимах:

а) изотермическом с увеличением влагосодержания и относительной влажности воздуха при сохранении начальной температуры;

б) политропном при одновременном повышении влагосодержания и увеличении температуры.

В обоих случаях невозможно проводить процесс без подвода энергии от внешнего источника, то есть адиабатный процесс невозможен.

Затраты энергии и времени работы пароувлажнителя при одинаковом увеличении влагосодержания и возрастании температуры на 5 °С в политропном режиме увеличивается на 37 % по сравнению с изотермическим режимом пароувлажнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 432 с.
2. 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; под ред. чл.-корр. АН России П. Г. Романкова. – 14-е изд., стереотипное. – М: ООО ИД «Альянс», 2007. – 576 с.

УДК 621.928.37

В. О. Яблонский

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ НЕФТИ НА ОСНОВАНИИ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: pahp@vstu.ru

Предложена методика расчета гидроциклонов для дегазации нефти, обладающих неньютоновскими свойствами, при пленочном режиме течения в поле центробежных сил на основании регрессионной модели. Регрессионная модель представлена в виде зависимостей интегральных показателей разделения от определяющих чисел подобия и реологических констант нефти. Регрессионная модель позволяет создавать расчетные диаграммы для определения оптимальных конструктивных и режимных параметров цилиндрических гидроциклонов для дегазации нефти в зависимости от заданных интегральных показателей разделения на выходе из аппарата.

Ключевые слова: дегазация, регрессионная модель, неньютоновские свойства, реологические константы, пленочный режим течения, интегральные показатели разделения.

V. O. Yablonskii

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING HYDROCYCLONES FOR OIL DEGASSING ON THE BASIS OF REGRESSION EQUATIONS

Volgograd State Technical University

A method for calculating hydrocyclones for degassing oils with non-Newtonian properties under a film flow regime in the field of centrifugal forces based on a regression model is proposed. The regression model is presented in the form of dependencies of integral separation indicators on the determining similarity numbers and rheological constants of oil. The regression model allows you to create calculation diagrams for determining the optimal design and operating parameters of cylindrical hydrocyclones for oil degassing, depending on the specified integral separation indicators at the outlet of the apparatus.

Keywords: degasation, regression model, non-Newtonian properties, rheological constants, film flow mode, integral separation indicators.

В настоящее время для того, чтобы разделить два компонента, такие как газ и нефть, используют металлоемкие и непроизводительные гравитационные сепараторы, которые работают только при условии, что концентрация газа достаточно мала. Чтобы найти решение этой проблемы, есть несколько способов, один из них – это использование аппаратов центробежно-вихревого типа для дегазации нефти. Применение таких установок на территории Западной Сибири позволит повысить качество добываемых нефтепродуктов и сократить энергозатраты. Следовательно, задача разработки центробежно-вихревого аппарата для дегазации

нефти с целью замены сепараторов устаревшей конструкции является достаточно актуальной.

Основным показателем, на значения которого следует ориентироваться при выборе сепаратора для промывочных жидкостей – это остаточный объем газа: чем меньше содержится газа в жидкости, тем лучше справляется сепаратор со своей задачей.

Применяемые в настоящее время гравитационные сепараторы не обеспечивают высокой степени дегазации из-за низкой скорости движения газа, что в сочетании с высокой металлоемкостью и потребностью в значительных производственных площадях делает их применение

во многих случаях нерациональным. Поэтому разработка новых конструкций центробежных сепараторов и теоретическое изучение процесса дегазации с целью повышения его эффективности является актуальной задачей, представляет научный интерес и направлено на решение важной практической проблемы.

В работах [1, 2] на основе математической модели численно исследован процесс дегазации в гидроциклоне. Показана возможность применения метода гидроциклонирования для удаления воздушной фазы из жидкости, однако полученные результаты применимы лишь для дегазации турбулентного потока ньютоновской жидкости в цилиндрическом гидроциклоне, имеющем невысокую эффективность в процессах дегазации.

В работе [3] рассмотрен процесс дегазации аэрированной жидкости с неньютоновской дисперсионной средой и отмечается, что наиболее перспективным путем интенсификации процессов дегазации аэрированных жидкостей является соединение двух известных факторов – реализация процесса в тонкой пленке и наложение центробежного поля. Разработка методики моделирования и расчета аппаратов для осуществления таких процессов позволит расширить сферу их внедрения в промышленность и представляет значительный теоретический и прикладной интерес.

Как отмечается в [4], наиболее экономичными методами дегазации являются механические. Одним из перспективных механических методов является дегазация в центробежном

поле, а именно в центрифугах и гидроциклонах.

В статьях [5, 6] выполнено численное моделирование гидродинамики цилиндрического гидроциклона с вязкопластической разделяемой средой. На основании анализа результатов решения задачи дегазации в гидроциклонах неоднородных жидких систем, обладающих неньютоновскими свойствами [6], был сделан вывод, что наиболее оптимальный режим процессов дегазации достигается при проведении их в цилиндрическом гидроциклоне.

В связи с этим актуальной задачей является разработка конструкции гидроциклонного сепаратора, использующего интенсификацию процесса выделения пузырьков газа из жидкости в центробежном поле и обеспечивающего пленочный режим течения. Для эффективного использования цилиндрического гидроциклона в процессе дегазации нефти необходимо определить его конструктивные параметры и оптимальные режимы работы при дегазации среды с различными реологическими свойствами.

Цель работы – разработка методики расчета гидроциклонов для дегазации нефти на основании регрессионной модели и выбор оптимальных конструктивных и режимных параметров гидроциклона – дегазатора.

В работе [7] сделано заключение, что к нефти применимо реологическое уравнение состояния неньютоновской жидкости, которое обычно записывают в виде закона Оствальда де Вилля. Полагаем, что этим законом описываются свойства псевдопластических жидкостей:

$$\tau_{ij} = k |A|^{n-1} \gamma_{ij}, \quad (1)$$

$$A = \sqrt{2 \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} \right)^2 + 2 \left(\frac{V_r}{r} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V_z}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_\varphi}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial z} \right)^2},$$

где τ_{ij} – компоненты тензора напряжений, Па; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; γ_{ij} – компоненты тензора скоростей деформаций, с^{-1} ; A – интенсивность скоростей деформаций, с^{-1} ; n – показатель нелинейности кривой течения; k – индекс консистентности, $\text{Па} \cdot \text{с}^n$; r, φ, z – радиальная, окружная и осевая координаты соответственно.

В работе [7] на ротационном реометре «Kinexus ultra +» получены реологические константы уравнения (1) для нефти без турбулентной присадки при различных значениях темпе-

ратуры. Для температуры 20 °С $k = 10,197 \text{ Па} \cdot \text{с}^n$, $n = 0,3161$.

Гидроциклон (рис. 1) состоит из цилиндрического корпуса 1, в который через входной патрубок 2, установленный в его верхней части, тангенциально подается исследуемая жидкость, содержащая выделившиеся из нее пузырьки газа. Поступившая в корпус гидроциклона жидкость стекает, образуя вращающуюся пленку 3, по его стенкам вниз, обладая радиальной V_r , окружной V_φ и осевой V_z составляющими скорости. Пузырьки газа извлекаются из жидкости под действием центробежной силы A_r

химеда на поверхность пленки. Очищенная от пузырьков газа жидкость удаляется через нижний слив 4 гидроциклона, установленный на днище 5, а газ – через верхний отводящий патрубок 6.

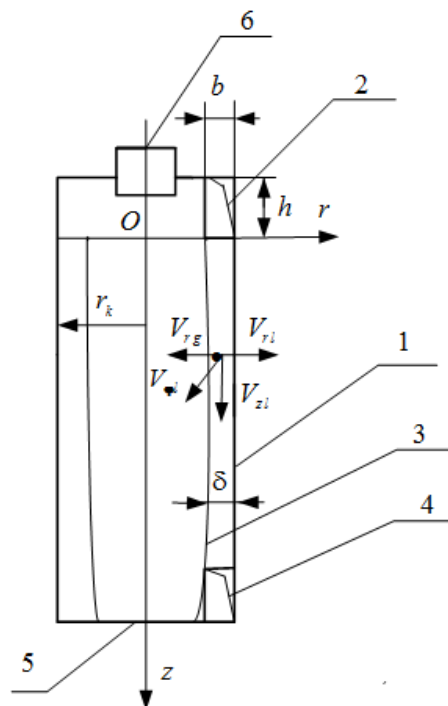


Рис. 1. Схема дегазации жидкости в цилиндрическом гидроциклоне:

1 – корпус гидроциклона; 2 – входной патрубок; 3 – вращающаяся пленка жидкости; 4 – патрубок для отвода жидкой фазы; 5 – днище гидроциклона; 6 – патрубок для отвода газа

Показателем качества процесса дегазации нефтяных систем в цилиндрическом гидроциклоне является среднеинтегральная степень извлечения пузырьков газа S , представляющая собой среднюю безразмерную объемную долю пузырьков газа в нефти в данном сечении пленки (при $Z = const$). Среднеинтегральная степень извлечения пузырьков газа S позволяет оценить влияние определяющих чисел подобия и реологических свойств дисперсионной среды на протекание процесса дегазации в гидроциклоне. Среднеинтегральная степень извлечения пузырьков газа вычислялась по следующей формуле:

$$S = 1 - \frac{\int_0^1 C_b H_b(R, Z) R dR}{C_{b0} \int_0^1 H_{b0}(R, Z) R dR}, \quad (2)$$

где $C_b = \frac{c_b}{c_{b0}}$ – безразмерная объемная доля пузырьков газа в данном сечении пленки жидко-

сти; C_{b0} – безразмерная объемная доля пузырьков газа во входном патрубке гидроциклона;

$H_b(R, Z) = \frac{V_{zb}}{U_0}$ – безразмерная осевая составляющая скорости пузырьков газа;

$H_{b0}(R, Z)$ – безразмерная осевая составляющая скорости пузырьков газа в начальном сечении пленки;

$R = \frac{r}{r_k}$, $Z = \frac{z}{r_k}$ – безразмерные радиальная и осевая координаты;

$B = \frac{b}{r_k}$ – безразмерная ширина

входного патрубка гидроциклона; $H = \frac{h}{r_k}$ – без-

размерная высота входного патрубка гидроциклона; c_g – объемная доля пузырьков газа в данном сечении пленки жидкости, m^3/m^3 ; c_{g0} – объемная доля пузырьков газа во входном патрубке гидроциклона, m^3/m^3 ; V_{zb} – осевая составляющая скорости пузырьков газа, m/c ; U_0 – средняя скорость среды во входном патрубке гидроциклона, m/c ; r, z – радиальная и осевая координаты, m ; b – ширина входного патрубка гидроциклона, m ; r_k – радиус корпуса гидроциклона, m ; $\Delta(Z) = \frac{\delta(Z)}{r_k}$ – безразмерная толщина

пленки суспензии; $\delta(z)$ – толщина пленки суспензии, m .

При проведении вычислений по формуле (2) осевая составляющая скорости пузырьков газа H_b была принята равной осевой составляющей скорости дисперсионной среды H_l [6], так как инерция пузырьков газа в осевом направлении при проведении расчетов не учитывалась [5].

Процесс дегазации неоднородных жидких систем в гидроциклоне описывается числами

$$Fr = \frac{U_0^2}{g r_k}; \quad Re_n = \frac{\rho_l r_k^n U_0^{2-n}}{k}; \quad Q_0 = \frac{hb}{\pi r_k^2}, \quad (3)$$

характеризующими гидродинамику пленки неньютоновской жидкости [5] и числом

$$Re_{nb} = \frac{\rho_l d_b^n U_{0b}^{2-n}}{k}, \quad (4)$$

где ρ_l – плотность жидкости; d_b – диаметр пузырька газа; U_{0b} – начальная скорость пузырька газа во входном патрубке гидроциклона [6].

Число Re_{nb} является аналогом числа Рейнольдса, характеризующим режим всплывания пузырька газа к поверхности пленки в неньютоновской жидкости при условии пренебрежи-

мо малой плотности газа по сравнению с плотностью жидкости.

Пузырьки газа полагаем монодисперсными. При необходимости выполнения расчетов для полидисперсных смесей пузырьков, принимая расчетный диаметр пузырька газа равным диаметру пузырьков наиболее мелкой фракции, можно обеспечить заданную степень извлечения S .

Уравнение регрессии, позволяющее определять конструктивные и режимные параметры цилиндрических гидроциклонов, предназначенных для дегазации нефти в поле центробежных сил, в зависимости от требуемой степени извлечения пузырьков газа на выходе из гидроциклона может быть представлено следующим образом:

$$S = \sum_{i=0}^4 \frac{K_i^s}{Z^j} Fr^{A_i^s} n^{B_i^s} Re_n^{C_i^s} Q_0^{D_i^s} Re_{nb}^{E_i^s}, \quad (5)$$

где $j = i$ – показатель степени при осевой координате Z ; $K_i^s, F_i^s, A_i^s, B_i^s, C_i^s, D_i^s, E_i^s$ – коэффициенты регрессии.

Для определения коэффициентов уравнения регрессии (5) были выполнены расчеты процессов дегазации нефти в цилиндрических гидроциклонах с использованием математической модели [6] для различных значений опреде-

ляющих чисел подобия и реологических констант дисперсионной среды при изменении их в широком диапазоне согласно методике планирования дробного факторного эксперимента для сокращения числа расчетов, необходимых для отыскания надежных значений коэффициентов регрессии. Квадратичный индекс корреляции $R_{squared}$ при выполнении процедуры нелинейной регрессии в пакете SPSS составил 0,984, что указывает на хорошую степень приближения полученных с использованием математической модели и рассчитанных по уравнению регрессии (5) значений степени извлечения S .

Нелинейное уравнение регрессии (5) было решено относительно искомых конструктивных и режимных параметров гидроциклона численным методом с использованием пакета MathCAD для различных значений определяющих чисел подобия и реологических констант дисперсионной среды.

Основные результаты решения представлены на рис. 2–4.

На рис. 2 показаны зависимости расчетного радиуса корпуса цилиндрического гидроциклона R от требуемой степени извлечения пузырьков газа S для различных значений показателя нелинейности кривой течения n при расходе жидкости, подаваемой в гидроциклон $Q = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$.

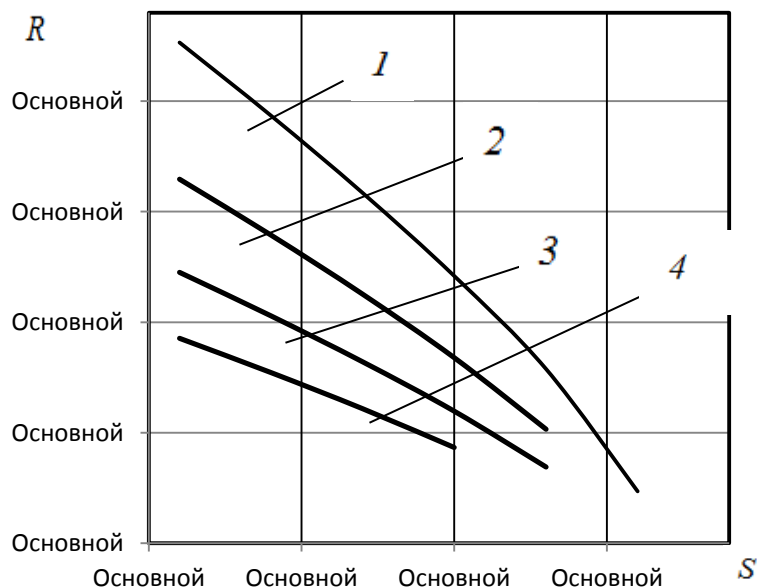


Рис. 2. Зависимости расчетного радиуса корпуса цилиндрического гидроциклона R от требуемой степени извлечения пузырьков газа S для различных значений показателя нелинейности кривой течения n ; $Q = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$;

$k = 10,2 \text{ Па} \cdot \text{с}^n$; $H = 0,2$; $B = 0,08$;

$1 - n = 0,6$; $2 - n = 0,7$; $3 - n = 0,8$; $4 - n = 0,9$; $5 - n = 1,0$

Из представленных зависимостей следует, что расчетный радиус корпуса гидроциклона R

возрастает с уменьшением n и соответствующим возрастанием аномалии неньютоновских

свойств среды, что соответствует повышению достигаемой в гидроциклоне степени извлечения S при росте аномалии неньютоновских свойств разделяемой среды и дает возможность проводить процесс в аппарате, имеющем большую производительность при большем диаметре корпуса. С ростом требуемой степени извлечения S расчетный диаметр корпуса аппарата уменьшается, обеспечивая рост фактора разделения.

Используя диаграмму, приведенную на рис. 2, задавая необходимую степень извлечения S пу-

зырьков газа и значение показателя нелинейности кривой течения n , можно определять расчетный радиус цилиндрического корпуса гидроциклона R для дегазации нефти.

На рис. 3 показаны зависимости расчетного радиуса корпуса цилиндрического гидроциклона R от требуемой степени извлечения пузырьков газа S для различных значений ширины входного патрубка гидроциклона H при расходе жидкости, подаваемой в гидроциклон $Q = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$.

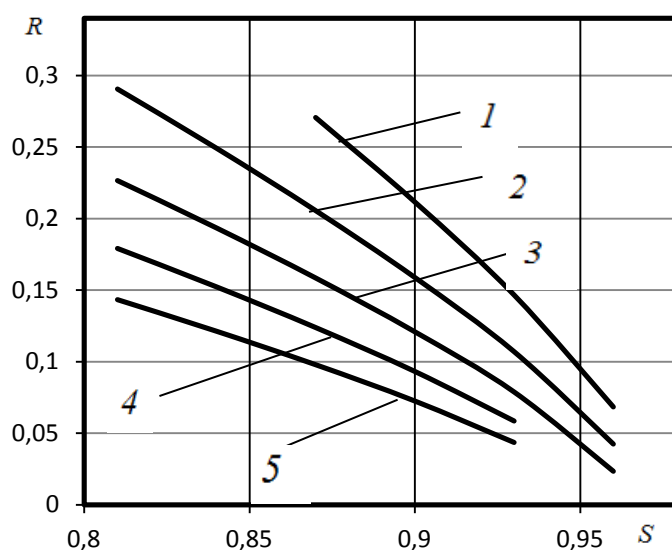


Рис. 3. Зависимости расчетного радиуса корпуса цилиндрического гидроциклона R от требуемой степени извлечения пузырьков газа S для различных значений ширины входного патрубка гидроциклона H ; $Q = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$;

$$n = 0,316; k = 10,2 \text{ Па} \cdot \text{с}^n; B = 0,08;$$

1 – $H = 0,065$; 2 – $H = 0,07$; 3 – $H = 0,075$; 4 – $H = 0,08$; 5 – $H = 0,085$

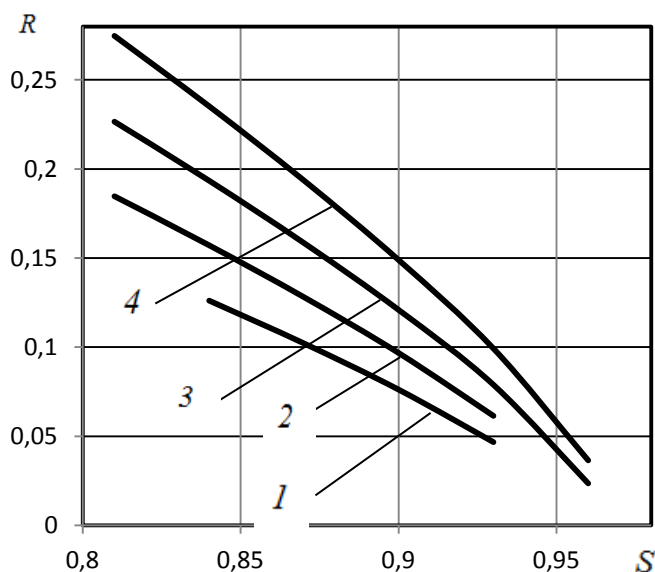


Рис. 4. Зависимости расчетного радиуса корпуса цилиндрического гидроциклона R от требуемой степени извлечения пузырьков газа S для различных значений расхода разделяемой среды Q , $\text{м}^3/\text{с}$; $n = 0,316$; $k = 10,2 \text{ Па} \cdot \text{с}^n$;

$$H = 0,2; B = 0,08;$$

1 – $Q = 0,08 \text{ м}^3/\text{с}$; 2 – $Q = 0,085 \text{ м}^3/\text{с}$; 3 – $Q = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$; 4 – $Q = 0,095 \text{ м}^3/\text{с}$; 5 – $Q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$

Из анализа представленных зависимостей следует, что расчетный радиус корпуса гидроциклона R уменьшается с ростом ширины H и площади сечения входного патрубка, что объясняется необходимостью повысить фактор разделения при увеличении толщины пленки жидкости для достижения заданной степени извлечения S .

На рис. 4 показаны зависимости расчетного радиуса корпуса цилиндрического гидроциклона R от требуемой степени извлечения пузырьков газа S для различных значений расхода подаваемой в гидроциклон нефти Q .

Из анализа представленных зависимостей следует, что расчетный радиус корпуса гидроциклона R увеличивается с возрастанием расхода Q подаваемой в гидроциклон нефти, что объясняется необходимостью уменьшения толщины пленки разделяемой среды для достижения заданной степени извлечения пузырьков газа S .

Используя диаграммы, приведенные на рис. 2–4, задавая необходимую степень извлечения S пузырьков газа и значение дополнительного параметра, можно определять расчетный радиус цилиндрического корпуса гидроциклона R для дегазации нефти.

Таким образом, использование предлагаемого уравнения регрессии позволяет построить диаграммы для графического расчета конструктивных и режимных параметров цилиндриче-

ских гидроциклонов для дегазации нефти и оптимизировать работу аппаратов путем выбора значений параметров, обеспечивающих наиболее высокие показатели извлечения газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Варавва, А. И. Численное моделирование процесса дегазации газожидкостной смеси в гидроциклоне / А. И. Варавва, В. Е. Вершинин, Д. В. Трапезников // Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2019. – Т. 5, № 3. – С. 213–229.
2. Матвиенко, О. В. Численное исследование процесса дегазации в гидроциклонах / О. В. Матвиенко, М. В. Агафонцева // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 12. – С. 107–118.
3. Щукина, А. Г. Математическое моделирование процессов разделения неоднородных систем с неньютоновской дисперсионной средой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 1996. – 16 с.
4. Терновский, И. Г. Гидроциклонирование / И. Г. Терновский, А. М. Кутепов. – М: Наука, 1994. – 350 с.
5. Яблонский, В. О. Влияние режимных параметров цилиндрического гидроциклона на эффективность дегазации неоднородных систем с неньютоновской дисперсионной средой / В. О. Яблонский // Химическая промышленность. – 2006. – Т. 83, № 6. – С. 291–299.
6. Яблонский, В. О. Выбор конструктивных параметров цилиндрического гидроциклона для дегазации неоднородных жидких сред на основании результатов численного моделирования / В. О. Яблонский // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 1. – С. 4–8.
7. Исследование реологических свойств вязкой нефти при различных параметрах ее транспортирования // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 2. – С. 102–106.

ТРАНСПОРТ

УДК 338.585

Д. А. Спивак, М. В. Полуэктов

АНАЛИЗ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ МАЛОГО КЛАССА

Волгоградский государственный технический университет
e-mail: spiwak.darja@yandex.ru, poluektov@vstu.ru

Определен средний ресурс элементов рулевого управления одной из моделей грузовых автомобилей малого класса, на основании опыта работы предприятия автосервиса. Выявлен критический элемент, лимитирующий ресурс системы в целом, определен закон распределения величины его ресурса. Сделаны предложения конструктивного и эксплуатационного характера, направленные на повышение долговечности системы.

Ключевые слова: рулевое управление, автомобиль, ресурс, долговечность.

D. A. Spiwak, M. V. Poluektov

SMALL-CLASS TRUCKS STEERING ELEMENTS RESOURCE ANALYSIS

Volgograd State Technical University

The average resource of one of the models of small-class trucks steering elements is determined, based on the experience of the car service company. The critical element, limited the resource of the whole system is identified, the value of its resource law of distribution is determined. Proposals of a constructive and operational nature are made, aimed at increasing the system durability.

Keywords: steering, car, resource, durability.

Грузовые автомобили малого класса получили в последние десятилетия очень широкое распространение. Эти автомобили являются оптимальными для доставки грузов к торговым точкам, оказания услуг населению. Зачастую им разрешен въезд в центральные части городов, куда автомобили большей грузоподъемности не допускаются.

На дорогах г. Волгограда и Волгоградской области данный класс автомобилей преимущественно представлен семейством ГАЗель Горьковского автозавода, в меньшей степени – автомобилями зарубежного производства: Форд Транзит, Фольксваген Крафтер, Мерседес Спринтер, Фольксваген Транспортер, Мерседес Вито.

Грузовые автомобили малого класса чаще эксплуатируются небольшими организациями, ИП или частными лицами. Это накладывает отпечаток на условия эксплуатации. Как правило, автомобили осуществляют перевозки с высокой интенсивностью, в том числе в городских условиях. Встречаются случаи перегрузки автомобилей. При этом работы ТО и ТР производятся не всегда регулярно.

Таким образом, актуальными являются исследования, направленные на повышение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей малого класса. В частности, одной из важнейших систем, обеспечивающих безотказность дорожного движения, является рулевое управление. В отличие от тормозной системы, рулевое управление не имеет дублирующих элементов, что делает вопросы его долговечности и безотказности еще более важными.

В предлагаемом исследовании была проведена оценка долговечности элементов рулевого управления одной из моделей грузовых автомобилей малого класса. Первый этап исследования заключался в аналитическом рассмотрении каждого элемента системы с позиции его долговечности и, частично, безотказности. Каждая деталь была проанализирована с позиции условий нагружения, используемых материалов, взаимодействия с другими деталями, возможностей возникновения перегрузок и т. д.

В результате были выделены элементы, долговечность которых может оказаться ниже, чем у других, и которые, соответственно, долж-

ны лимитировать ресурс системы в целом. Такими элементами являются втулки и шкворень поворотного кулака.

Для уточнения сделанных теоретических предположений в дальнейшем использовался метод пассивного эксперимента, то есть наблюдение за автомобилями в процессе их обслуживания и ремонта на одной из СТО Волгоградской области, специализирующейся на подвижном составе рассматриваемого класса.

Все исследованные автомобили эксплуатировались в схожих условиях периферийных дорог, качество покрытия которых не всегда высокое.

Немалая часть пробега приходится на грунтовые дороги, в том числе глинистые и песчаные. Климат Волгоградской области – умеренный, резко континентальный, с холодной, малоснежной зимой и жарким, сухим летом. Маршрутные передвижения исследуемых автомобилей – по населенным пунктам небольшой величины и между ними. Владельцы автомобилей стремятся повысить эффективность использования подвижного состава, поэтому преимущественно автомобили движутся со значительной нагрузкой.

Данные, полученные в ходе исследования, представлены в таблице.

Результаты определения средней величины ресурса элементов

№	Элемент рулевой системы	Средний ресурс элемента по результатам наблюдений
1	Рулевая колонка	Сопоставим с ресурсом автомобиля
2	Подшипники рулевой колонки	Сопоставим с ресурсом автомобиля
3	Втулка подшипника рулевой колонки	180000 км
4	Нижний шарнир рулевого вала	130000 км
5	Верхний шарнир рулевого вала	Сопоставим с ресурсом автомобиля
6	Корпус рулевого механизма	Сопоставим с ресурсом автомобиля
7	Винт с шариковой гайкой рулевого механизма	Сопоставим с ресурсом автомобиля
8	Вал-сектор рулевого механизма	350000 км
9	Подшипники винта рулевого механизма	350000 км
10	Подшипники вала-сектора	110000 до 350000 км
11	Уплотнительные кольца рулевого механизма	110000 км
12	Пара трения «шкворень – втулка поворотного кулака»	95000 км

Экспериментально была подтверждена гипотеза о том, что ресурс рулевого управления в целом определяется техническим состоянием пары трения «шкворень – втулка поворотного кулака» (рис. 1 и 2). Данная пара трения смазывается консистентной смазкой, для лучшего ее распределения и сохранения втулки имеют

спиральные канавки, которые при достижении предельного состояния практически исчезают (рис. 2).



Рис. 1. Шкворень со следами износа



Рис. 2. Изношенные втулки

В ходе статистической обработки результатов эксперимента была установлена не только средняя величина ресурса узла, но и закономерность распределения ресурса.

При оценке ресурса сопряжения «шкворень – втулка поворотного кулака», выборка состояла из 50 автомобилей одной марки. Ресурс составил от 76 тыс. км до 191 тыс. км.

После расчета частоты отказов и статистической функции распределения наработки, получена гистограмма распределения, (рис. 3) и функция интенсивности отказов (рис. 4).

Были выдвинуты гипотезы о том, что имеет место нормальное распределение или распределение Вейбулла. С использованием критерия

согласия Пирсона, было окончательно установлено, что законом, которому подчиняется данное распределение, является нормальный закон распределения.

На основании результатов теоретического исследования и пассивного эксперимента были разработаны предложения по повышению ресурса рулевого управления автомобилей рассматриваемой марки за счет оптимизации соответствующих характеристик критического элемента системы, которым в данном случае является втулка поворотного кулака. Рассматривались два вида мероприятий по повышению ресурса – эксплуатационные и конструктивные.

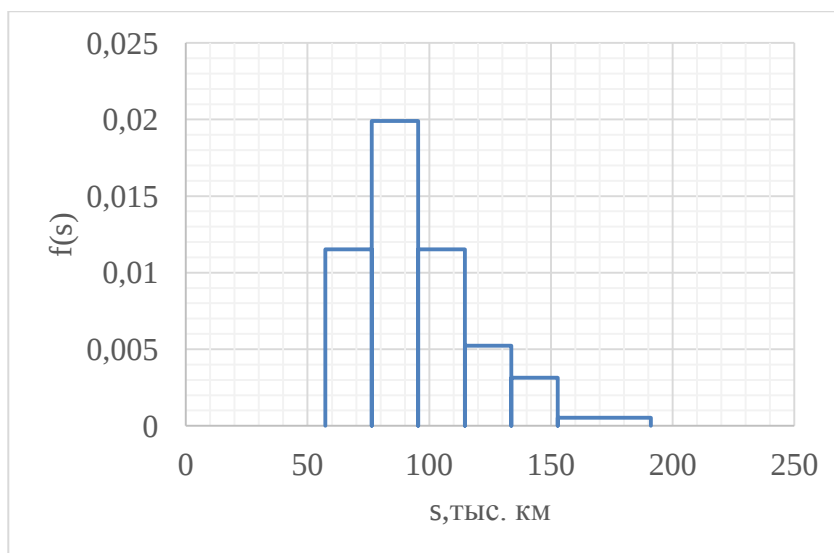


Рис. 3. Гистограмма распределения наработки

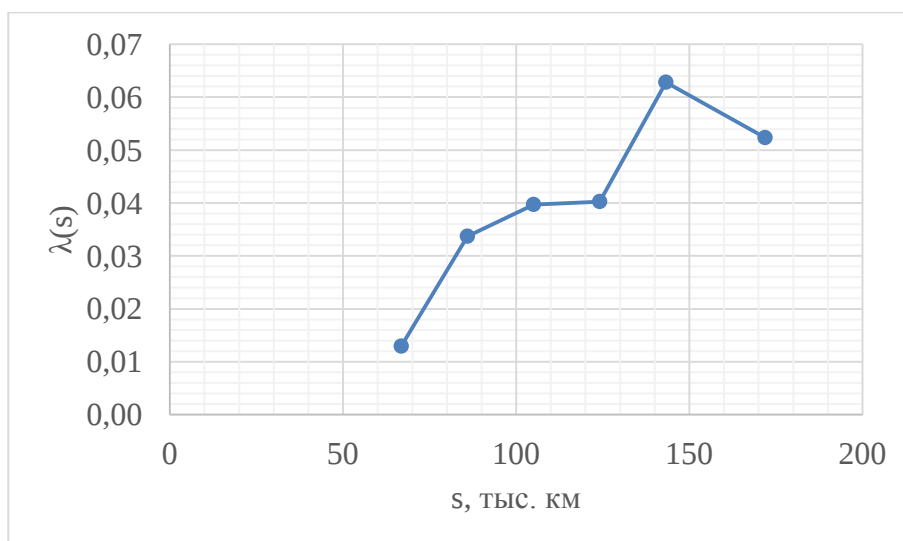


Рис. 4. Статистическая функция интенсивности отказов

Одним из вариантов конструктивного решения является замена втулки шкворня на игольчатый подшипник, например, типа 943/25K. Данный подшипник – роликовый игольчатый с наружным кольцом со сквозным отверстием без сепаратора.

Замена втулки на подшипник должна способствовать снижению интенсивности изнашиванию узла, а также сократит время, затрачиваемое на ремонт узла в дальнейшем. Вместе с тем, данное предложение пока не может быть рекомендовано к выполнению предприятиями автосервиса. Оно в обязательном порядке требует проведения экспертизы и испытаний, после чего может быть сделано заключение о безопасности такой конструкции. Это связано с тем, что рулевое управление является системой, в значительной степени определяющей активную безопасность автотранспортного средства. В соответствии с требованиями технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011), не допускается внесение изменений в конструкцию без получения в подразделении Госавтоинспекции, разрешения на внесение изменений в конструкцию транспортного средства с последующей проверкой подразделением Госавтоинспекции выполнения требований технического регламента и выдачей свидетельства о соответствии транспортного средства с внесенными в его конструкцию изменениями требованиям безопасности.

В рамках проведенного исследования не проводилась оценка влияния предлагаемых изменений на работоспособность узла, но одним из факторов, способных оказать отрицательное влияние, является необходимость расточки посадочного места под подшипник, в ходе которой может быть ослаблена конструкция кулака в целом.

Эксплуатационные мероприятия по повышению долговечности могут заключаться в следующем.

Согласно инструкции по эксплуатации исследуемой марки автомобиля, шприцевание втулок поворотного кулака производится через каждые 10000 км. В соответствии с результатами экспериментального исследования, средний

ресурс втулок составил 95000 км при нормальном законе распределения. Следовательно, необходимо при ТО, предшествующем этому пробегу, когда втулки шкворней будут приближаться к предельному износу, производить не шприцевание втулок, а их принудительную замену. Это обеспечит дальнейшую работу узла в целом на протяжении следующих 90000 км.

Такая замена повысит трудоемкость ТО - 90000, поскольку понадобится дополнительно выполнить некоторые операции. Суммарная трудоемкость работ по замене втулок, в соответствии с опытом работы рассматриваемой СТО, составляет около 4,5 чел.-ч. При стоимости нормо-часа, равной 1000 рублей, удорожание обслуживания составит 4500 руб. Это удорожание, на первый взгляд, довольно существенное, не только предвратит необходимость последующего дорогостоящего ремонта, но и повысит безопасность движения.

Таким образом, имеет смысл рекомендовать заводу-производителю автомобилей данной марки принудительную замену втулок шкворней при ТО - 90000.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов, К. В. Показатели надежности технических систем: наработка до отказа, ресурс, срок службы: учебное пособие. – ВолгГТУ, 2007. – 80 с.
2. Автомобили ГАЗ-3302. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. – М., 2010. – 342 с.
3. Руководство по эксплуатации и ремонту Ford Transit с 2006 года выпуска с бензиновыми и дизельными двигателями. – М.: Третий Рим, 2006. – 304 с.
4. Руководство по эксплуатации и ремонту автомобилей Mercedes-Benz Sprinter серии W906 и Volkswagen Crafter с 2006 года выпуска с бензиновыми и дизельными двигателями. – М.: Монолит, 2006. – 446 с.
5. Надежность технических систем: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2010. – 304 с.
6. Полюшкин, Н. Г. Основы теории трения, износа и смазки: учеб. пособие / Н. Г. Полюшкин. – Красноярск, 2013. – 192 с.
7. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» № ТР ТС 018/2011. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/tehnreg/deptexreg/Documents/TR%20TS%20KolesnTrS.pdf>.
8. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения: введ. 01.03.17. – М., 2017. – 30 с.
9. Вишневецкий, Ю. Т. Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автомобилей / Ю. Т. Вишневецкий. – М.: Дашков и К, 2006. – 380 с.

УДК 338.585

*М. В. Полуэктов¹, В. В. Савельев²***ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ
ЛЕГКОВЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**¹Волгоградский государственный технический университет²Самарский государственный технический университет

e-mail: poluektov@vstu.ru, w.savelyev@mail.ru

В статье рассмотрена методика расчета стоимости владения легковым автомобилем с учетом расходов на его приобретение, плановое ТО, страхование, транспортный налог и топливо.

Ключевые слова: автомобиль, комплектация, продажа, плановое ТО, затраты, эксплуатация.

*M. V. Poluektov¹, V. V. Savelyev²***DETERMINATION OF THE PASSENGER CARS
OWNERSHIP COST IN OPERATION**¹Volgograd State Technical University²Samara State Technical University

The method of a passenger car ownership cost calculating is considered. The cost of its purchase, planned maintenance, insurance, transport tax and fuel take into account.

Keywords: car, complete set, sale, planned maintenance, costs, operation.

По итогам 2020 года в России было продано почти 1,6 млн. легковых автомобилей, что на 160 тыс. или 10 % меньше, чем годом ранее [1]. Причины вполне очевидны – перераспределение статей расходов россиян в минувшем году вследствие пандемии, режима самоизоляции и

снижения реальных доходов населения. Согласно данным опроса интернет-журнала auto.ru, в сентябре 2020 года ключевыми факторами при выборе нового автомобиля для россиян (рис. 1), являются надежность (58 % респондентов) и цвет кузова (55 %).

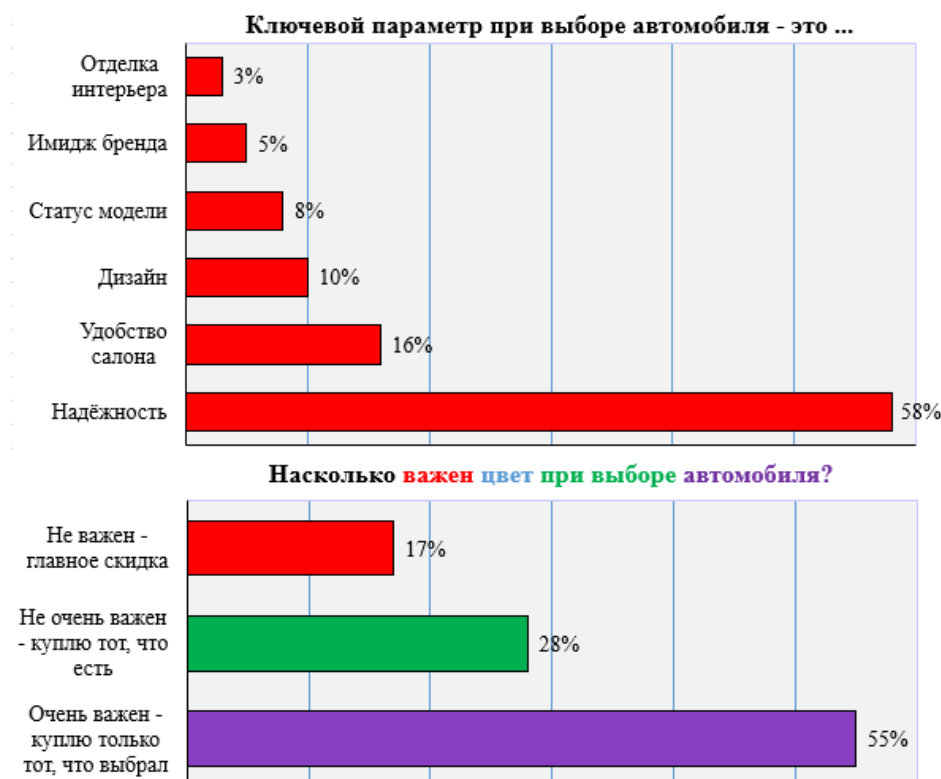


Рис. 1. Факторы, влияющие на выбор нового автомобиля [2]

В сложившихся экономических условиях к имеющимся факторам целесообразно добавить, как минимум, еще один – стоимость владения автомобилем. Стоимость владения традиционно рассматривается применительно к грузовому коммерческому транспорту, поскольку в этом случае она напрямую влияет на прибыль предприятия [3]. Для легковых автомобилей, особенно индивидуального пользования, данный критерий менее изучен. В предлагаемом

исследовании рассмотрена методика расчета удельных затрат на эксплуатацию автомобилей на примере Nissan Qashqai, Hyundai Tucson и Kia Sportage, которые по оценкам многих экспертов [4, 5] являются прямыми конкурентами.

Количество новых автомобилей Nissan Qashqai, Hyundai Tucson и Kia Sportage, проданных в РФ в течение 2019–2020 гг., представлено в табл. 1.

Таблица 1

Динамика продаж автомобилей, шт. [1]

Марка, модель	Место в ТОП-25 в 2020 году	Количество проданных автомобилей за период:		Динамика продаж
		2020 г.	2019 г.	
Kia Sportage	14	28190	34370	–18 %
Nissan Qashqai	18	22110	25158	–12 %
Hyundai Tucson	19	22107	22753	–3 %

Как видно из табл. 1, для всех рассматриваемых автомобилей наблюдается отрицательная динамика продаж в 2020 году, падение составило от 3 до 18 %.

В стоимость владения автомобиля, как правило, включают [6]:

1) стоимость регламентных работ ТО автомобиля по талонам сервисной книжки, в том числе стоимость расходных материалов (масел, фильтров и пр.);

2) стоимость ОСАГО и КАСКО;

3) величину транспортного налога;

4) расходы на топливо.

На основании этих данных рассчитывается стоимость одного километра пробега автомобиля. Знание этой величины может повлиять на выбор потребителем той или иной марки и модели автомобиля. Реже в стоимость владения включаются расходы, связанные с ремонтом или заменой узлов и деталей, что объясняется недостаточностью информации по эксплуатационной надежности автомобилей.

Поскольку все указанные выше модели ав-

томобилей выпускаются в различных комплектациях, для сравнительного анализа были выбраны конкретные модификации, обладающие близкими значениями основных технических характеристик:

1) автомобиль Nissan Qashqai (рис. 2, а) в комплектации SE, оснащенный бензиновым двигателем объемом 1997 см³, имеющий мощность 144 л. с., бесступенчатый вариатор, климат-контроль, передний привод, подогрев руля и задних сидений, датчики света и дождя, круиз-контроль, передний и задние датчики парковки. Стоимость автомобиля в данной комплектации – 1750 тыс. руб. [7].

2) автомобиль Hyundai Tucson (рис. 2, б) в комплектации Primary, имеющий бензиновый двигатель объемом 1999 см³ и мощностью 150 л. с., автоматическую шестиступенчатую трансмиссию, передний привод, кондиционер, датчик света, светодиодные дневные ходовые огни, круиз-контроль, систему мониторинга контроля давления в шинах. Стоимость автомобиля в данной комплектации – 1794 тыс. руб. [8].



Рис. 2. Автомобили-конкуренты, сравниваемые по стоимости владения

3) автомобиль Kia Sportage (рис. 2, в) в комплектации Comfort, оснащенный бензиновым двигателем объемом 1999 см³ и мощностью 150 л. с., с автоматической шестиступенчатой трансмиссией, передним приводом, имеющий подогрев руля и задних сидений, климат-контроль, датчик дождя, светодиодные дневные ходовые огни, круиз-контроль, датчики задней парковки. Стоимость автомобиля в данной комплектации – 1879 тыс. руб. [9].

Для того чтобы исключить расходы на ремонт, стоимость владения автомобиля рассчитывается для первых трех лет эксплуатации до пробега 50 тыс. км, т. е. в гарантийный период. В этот период обнаруженные неисправности конструктивного и производственного характера устраняются бесплатно для владельца за счет завода-производителя. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Стоимость владения автомобилем за три года эксплуатации (50 тыс. км пробега)*

Показатели	Nissan Qashqai	Hyundai Tucson	Kia Sportage
Расчет стоимости владения			
1. Стоимость автомобиля $C_{нов}$, тыс. руб.	1750	1794	1879
Стоимость ТО-1, руб.	13424	12955	11082
Стоимость ТО-2, руб.	26830	15615	12652
Стоимость ТО-3, руб.	13424	12955	12599
2. Суммарные расходы на ТО $C_{ТО}$, руб.	53678	41525	36333
3. Транспортный налог за три года $H_{ТР}$, руб.	14256	14850	14850
4. КАСКО за один год, руб.	27614	27614	27614
5. ОСАГО за три года, руб.	21945	21945	21945
Смешанный расход $P_{см}$, л / 100 км	7,0	7,9	7,9
Объем топлива V_T на 50 тыс. км, л	3500	3950	3950
6. Затраты на топливо $Z_{ТОП}$, руб.	166250	187625	187625
7. Общие расходы $P_{общ}$, руб.	2006129	2059945	2167367
8. Остаточная стоимость $C_{ост}$, руб.	1225000	1255800	1315300
9. Стоимость 1 км пробега $C_{км}$, руб.	7,47	8,19	8,74

* на 07.05.2021 г.

За три года эксплуатации сравниваемые автомобили посетят дилерский сервис для планового ТО три раза, т. е. при пробегах 15, 30 и 45 тыс. км с начала эксплуатации или через один, два и три года (в зависимости от того, что наступит ранее). Стоимость технического обслуживания согласно «Калькулятора ТО» [7, 8, 9], для дилера города Самара, приведена в табл. 2, п. 2. Минимальные суммарные расходы на три ТО $C_{ТО}$, равные 36,3 тыс. руб., наблюдаются для автомобиля Kia Sportage, максимальные, равные 53,7 тыс. руб. – для автомобиля Nissan Qashqai.

Ставка транспортного налога в Самарской области в 2021 году для автомобилей с мощностью двигателя от 120 до 150 л. с. включительно, составляет 33 р. за одну лошадиную силу [10]. С учетом примерно равных объемов дви-

гателей и мощности от 144 до 150 л. с., будущие владельцы автомобилей Qashqai, Tucson и Sportage заплатят за три года практически одинаковую величину транспортного налога – от 14,2 до 14,8 тыс. руб.

Для расчета стоимости полисов ОСАГО и КАСКО был использован онлайн-калькулятор [11]. Предположим, что договор на полис КАСКО был заключен страхователем только в первый год владения, полис ОСАГО – ежегодно, т. е. три раза, на следующих условиях: условия страхования – стандартные; место регистрации собственника транспортного средства – город Самара; период использования транспортного средства – 1 год; водители, допущенные к управлению – без ограничений; защита от угона по КАСКО; размер франшизы – 25 т. р. С учетом заданных условий, размер ОСАГО

для всех автомобилей с минимальной базовой ставкой в год составит 7315 руб. или 21945 руб. за три года, размер КАСКО – 27614 руб.

Объем топлива V_T за три года эксплуатации и пробег $L = 50$ тыс. км при смешанном расходе топлива на 100 км пути составит:

$$V_T = \frac{LP_{CM}}{100} \quad (1)$$

для автомобиля Nissan Qashqai $V_{T1} = 3500$ л;

для автомобилей Hyundai Tucson и Kia Sportage: $V_{T2} = V_{T3} = 3950$ л (табл. 2).

Рекомендуемой маркой топлива согласно «Руководству по эксплуатации» является бензин марки АИ-95, средняя стоимость которого на АЗС города Самара равна C_L 47,5 руб. за один литр.

Затраты на топливо $Z_{ТОП}$ на $L = 50$ тыс. км пробега будут равны:

$$Z_{ТОП} = C_L L \quad (2)$$

для автомобиля Nissan Qashqai $Z_{ТОП1} = 166250$ руб.;

для автомобилей Hyundai Tucson и Kia Sportage $Z_{ТОП2} = Z_{ТОП3} = 187625$ руб. (табл. 2, п. 6).

Согласно табл. 2, в общей сумме больше всего расходов – около 2167 тыс. руб. – за три года эксплуатации до пробега 50 тыс. км понесут собственники автомобилей Kia Sportage, меньшие – владельцы автомобилей Hyundai Tucson (2060 тыс. руб.) и Nissan Qashqai (2006 тыс. руб.), как представлено на рис. 3. Это обусловлено, прежде всего, отличием в цене самих кроссоверов (почти 130 т. р.) и десятипроцентной разницей в смешанном расходе топлива.

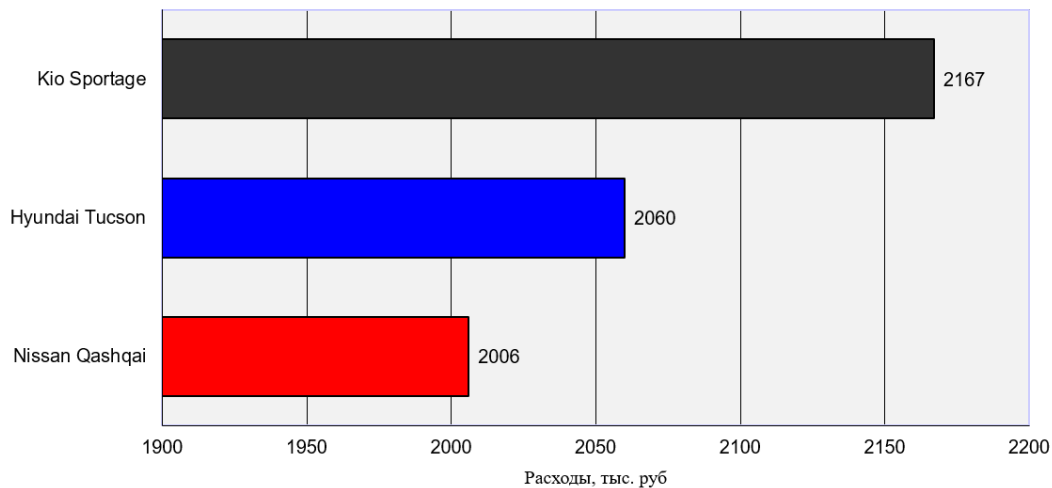


Рис. 3. Общие расходы на трехлетнюю эксплуатацию рассматриваемых автомобилей

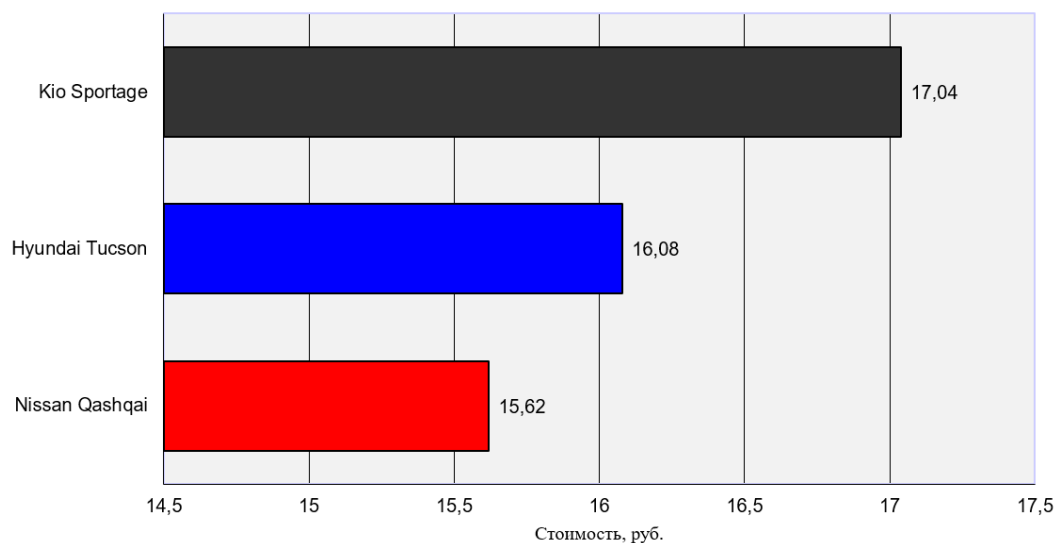


Рис. 4. Стоимость одного километра пробега автомобилей

По данным агентства «АВТОСТАТ», по истечении трех лет эксплуатации автомобиля в среднем теряют в стоимости около 30 % [12], поэтому остаточная стоимость $C_{ост}$ (табл. 2, п. 8) выбранных моделей определяется как

$$C_{ост} = C_{нов} \left(100 - \frac{ПР}{100} \right) \quad (3)$$

для автомобиля Nissan Qashqai

$$C_{ост1} = 1225,0 \text{ тыс. руб.};$$

для автомобиля Hyundai Tucson

$$C_{ост2} = 1255,8 \text{ тыс. руб.};$$

для автомобиля Kia Sportage

$$C_{ост3} = 1315,3 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость одного километра пробега автомобиля (табл. 2, п. 9) можно найти как разность общих расходов $P_{общ}$ на приобретение и эксплуатацию автомобиля в течение трех лет и остаточной стоимости $C_{ост}$ автомобиля, деленную на пробег $L = 50$ тыс. км.

Стоимость одного километра пробега $C_{км}$, (рис. 4) составит:

$$C_{км} = \frac{P_{общ} - C_{ост}}{L} \quad (4)$$

Для автомобиля Nissan Qashqai

$$C_{км1} = 15,62 \text{ руб.};$$

для автомобиля Hyundai Tucson

$$C_{км2} = 16,08 \text{ руб.};$$

для автомобиля Kia Sportage

$$C_{км3} = 17,04 \text{ руб.}$$

Таким образом, можно считать установленным, что стоимость владения автомобилем Nissan Qashqai в течение первых трех лет эксплуатации до пробега 50 тыс. км является наименьшей из трех рассматриваемых моделей автомобилей.

Рассмотренная методика расчета стоимости владения легковым автомобилем позволяет сделать выбор потребителя более осознанным, учитывающим экономические критерии, и позволяет более детально спланировать свои расходы в ближайшей перспективе. Дальнейшее развитие исследования может быть направлено на расчет стоимости владения автомобилями после гарантийного периода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автомобильный журнал «АвтоРевю». Главная / Новости / Авторынок России: итоги 2020 года. – Режим доступа: URL: <https://autoreview.ru/news/avtorynok-rossii-itogi-2020-goda> (дата обращения – 06.05.2021 г.).
2. Интернет-журнал Auto.ru. Главная / Новости / Комментарии / Надежность и цвет: озвучены самые важные для россиян факторы при выборе автомобиля. – Режим доступа: URL: <https://mag.auto.ru/article/autoruresearchfactors/> (дата обращения – 06.05.2021 г.).
3. Оценка экономической эффективности владения грузовым коммерческим автомобилем: монография / Н. А. Ляпин, Е. Ю. Ивакина, А. А. Раюшкина, А. П. Федин, К. В. Чернышов; под ред. Н. А. Ляпина; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 112 с.
4. Журнал «За рулем». Главная / Статьи / Karoq, Seltos и Qashqai: большой тест кроссоверов до двух млн руб. – Режим доступа: URL: <https://www.zr.ru/content/articles/923147-kia-seltos-skoda-karoq-nissan-qashqai-bolshoj-test/> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
5. Интернет-издание «БарсАвто». Кроссоверы: новинки, обзоры, плюсы и минусы. Главная / Новинки и обзоры / Kia Seltos можно и не покупать: 9 кроссоверов, которые лучше «корейца». – Режим доступа: URL: <https://barsakb.ru/obzory-i-novinki/nissan-kashkaj-krossover-ili-vnedorozhnik-2.html> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
6. Савельев, В. В. Методика расчета стоимости владения легковыми автомобилями / В. В. Савельев, М. Ю. Тимофеев // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы: сборник статей XI Всерос. конф.-семинара – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. С. 102–110.
7. Сайт производителя NISSAN. Главная / Владелец / Предложения / Комплектация и цены Nissan Qashqai. – Режим доступа: URL: <https://www.nissan.ru/vehicles/new-vehicles/qashqai-2020/price-specifications.html#grade-QASHQAIJ11G-1> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
8. Сайт производителя HYUNDAI. Главная / Онлайн-покупка / TUCSON / Комплектация и конфигурация. – Режим доступа: URL: <https://www.hyundai.ru/configurator/car/26/modification> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
9. Сайт производителя KIO. Главная / Модели / Sportage / Каталог новых автомобилей. – Режим доступа: URL: <https://www.kia.ru/models/sportage/cars/samara/bd8d62063eafa6911fa12de05620692b/> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
10. Справочная информация «Ассистентус». Главная / Справочники / Транспортный налог / Транспортный налог в Самарской области в 2021 году. – Режим доступа: URL: <https://assistentus.ru/transportnyj-nalog/63-samarskaya-oblast/> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
11. «Электронный страховой центр». Главная / ОСАГО / Калькулятор ОСАГО. – Режим доступа: URL: <https://kbmosago.ru/osago/kalkulyator-osago.html> (дата обращения – 07.05.2021 г.).
12. Савельев, В. В. Особенности системы автосервиса в России: учебное пособие / В. В. Савельев. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 127 с.

Ответственный за выпуск редактор РИО
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» (ВолГТУ)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)
Гл. редактор, тел.: +7 (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2021 г. (научные издания). Поз. № 19ж. Дата выхода в свет 28.09.2021 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,27.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО Издательства ВолГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

Отпечатано в типографии Издательства ВолГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.