

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 1 (30)
2020



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

ISSN 2500-0586

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. Коротаяев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
О. Г. Котиев – д.т.н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д.т.н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д.т.н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. Е. Новиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СГАУ
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.

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

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

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

№ 1 (30)
Апрель
2020

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
O. G. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. 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+OK).

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», 2020

Energo- i resursosberezhenie:

Promyshlennost' i transport

(Energy and Resource Saving:
Industry and Transport)
science-technical journal

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

№ 1 (30)
April
2020

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

Атрашенко О. С. 39, 43
Ахтулов И. И. 36
Васильев П. С. 18
Глухов Д. О. 36
Голованчиков А. Б. 30, 47, 51
Дулькин Т. А. 47
Масука Ш. М. 51
Парахневич Д. В. 22, 30

Парахневич Е. Д. 22, 30
Пастухов Ю. В. 6
Прохоренко Н. А. 47, 51
Русакова Г. Г. 22, 30
Русакова М. М. 22, 30
Чёрикова К. В. 22
Шагарова А. А. 18
Шурак А. А. 18

AUTHOR INDEX

Achtulov I. I. 36
Atrashenko O. S. 39, 43
Chyorikova K. V. 22
Dulkin T. A. 47
Gluchov D. O. 36
Golovanchikov A. B. 30, 47, 51
Masuka Sh. M. 51
Parakhnevich D. V. 22, 30

Parakhnevich E. D. 22, 30
Pastukhov Yu. V. 6
Prokhorenko N. A. 47, 51
Rusakova G. G. 22, 30
Rusakova M. M. 22, 30
Shagarova A. A. 18
Shurak A. A. 18
Vasiliev P. S. 18

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Пастухов Ю. В.</i> Мирное использование атомной энергии в инфраструктуре нефтехимического и газоперерабатывающего комплекса.....	6
<i>Шурак А. А., Шагарова А. А., Васильев П. С.</i> Моделирование работы промышленного теплообменного аппарата.....	18
<i>Русакова М. М., Русакова Г. Г., Парахневич Е. Д., Парахневич Д. В., Чёрикова К. В.</i> Определение технологических параметров процесса переработки отходов горчишно-маслобойного производства.....	22
<i>Русакова М. М., Русакова Г. Г., Голованчиков А. Б., Парахневич Е. Д., Парахневич Д. В.</i> Логистическая цепь гидролиза синигрина в отходах горчишно-маслобойного производства.....	30
<i>Ахтулов И. И., Глухов Д. О.</i> Автоматическая система управления освещением предприятия.....	36
<i>Атращенко О. С.</i> Системы для управления освещением на промышленных предприятиях.....	39
<i>Атращенко О. С.</i> Анализ опыта применения класса напряжения 20 кВ в распределительных сетях.....	43
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Дулькин Т. А.</i> Сравнительный расчет оптимального диаметра трубопровода для природного газа, нефти и полимерного раствора.....	47
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., Масука Ш. М.</i> Анализ корреляционной табличной зависимости по равновесию бинарной смеси методами наименьших квадратов и наименьших относительных квадратов.....	51
К сведению авторов.....	55

CONTENTS

<i>Pastukhov Yu. V.</i> PEACEFUL USE OF NUCLEAR ENERGY IN THE INFRASTRUCTURE OF THE PETROCHEMICAL AND GAS PROCESSING COMPLEX.....	6
<i>Shurak A. A., Shagarova A. A., Vasiliev P. S.</i> MODELING OF INDUSTRIAL HEAT EXCHANGER.....	18
<i>Rusakova M. M., Rusakova G. G., Parakhnevich E. D., Parakhnevich D. V., Chyorikova K. V.</i> DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE WASTE PROCESSING PROCESS MUSTARD AND OIL PRODUCTION.....	22
<i>Rusakova M. M., Rusakova G. G., Golovanchikov A. B., Parakhnevich E. D., Parakhnevich D. V.</i> LOGISTIC CHAIN HYDROLYSIS OF SINIGRIN IN WASTES OF MUSTARD AND OIL PRODUCTION.....	30
<i>Achtulov I. I., Gluchov D. O.</i> AUTOMATIC LIGHTING CONTROL SYSTEM.....	36
<i>Atrashenko O. S.</i> INDUSTRIAL LIGHTING CONTROL SYSTEMS.....	39
<i>Atrashenko O. S.</i> ANALYSIS OF EXPERIENCE OF APPLICATION OF VOLTAGE CLASS 20 KV IN DISTRIBUTION NETWORKS.....	43
<i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Dulkan T. A.</i> COMPARATIVE CALCULATION OF THE OPTIMAL DIAMETER OF THE PIPELINE FOR NATURAL GAS, OIL OF POLYMER SOLUTION....	47
<i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Masuka Sh. M.</i> ANALYSIS OF CORRELATION TABLE DEPENDENCE ON THE BINARY MIXTURE EQUILIBRIUM BY THE METHODS OF THE LEAST SQUARES AND THE LEAST RELATIVE SQUARES.....	51

Ю. В. Пастухов

**МИРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В ИНФРАСТРУКТУРЕ
НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА
(обзорная статья)**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: yuripastukhov@yandex.ru

Проведен обзор ядерно-физических методов, которые нашли разнообразное применение во многих отраслях промышленности. Приведены некоторые направления проведения радиационных технологий (в России и за рубежом) с использованием радионуклидных источников гамма-квантов и ускорителей электронов. Уделено внимание вопросам радиационной безопасности и необходимости всесторонних знаний в этой специфической области, и уровня культуры обращения с ядерными материалами, радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения. Обращено внимание не только на наличие техногенного радиационного фактора, а также на природное (естественное) происхождение радионуклидов в среде проживания человека, как неотъемлемого фактора. В качестве инструмента для проведения исследований во многих областях науки и техники нашли применение «меченые» атомы. Показана реализация метода «меченых» атомов на примере коррозионного мониторинга в промышленных условиях.

Ключевые слова: ядерно-физические методы, радионуклидные источники, ускорители электронов, радиационные технологии, меченые атомы, радиометрические и дозиметрические измерения, радиационная безопасность.

Yu. V. Pastukhov

**PEACEFUL use of NUCLEAR ENERGY IN THE INFRASTRUCTURE
OF THE PETROCHEMICAL AND GAS PROCESSING COMPLEX
(review article)**

Volgograd State Technical University

A review of nuclear physics methods that have found a variety of applications in many industries. Some directions of carrying out radiation technologies (in Russia and abroad) using radionuclide sources of gamma-quanta and electron accelerators are given. Attention is paid to the issues of radiation safety and the need for comprehensive knowledge in this specific area, and the level of culture of handling nuclear materials, radioactive substances and sources of ionizing radiation. Attention is drawn not only to the presence of man-made radiation factors, but also to the natural (natural) origin of radionuclides in the human environment, as an integral factor. "Labeled" atoms have been used as a research tool in many fields of science and technology. The implementation of the method of "labeled" atoms on the example of corrosion monitoring in industrial conditions is shown.

Keywords: nuclear physics methods, radionuclide sources, electron accelerators, radiation technologies, labeled atoms, radiometric and dosimetric measurements, radiation safety.

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

**Использование источников
ионизирующих излучений
для проведения радиационных технологий**

Последние годы XX в. характеризуются активной разработкой мощных радиационно-технологических установок. На исследовательских и опытных установках отработана технология радиационных процессов и основные узлы радиационно-технологических аппаратов [1].

В 1984 г. в 42 странах насчитывалось 135 опытно-промышленных и промышленных установок с радионуклидными источниками гамма-излучения [1], общая мощность радиационных установок с ускорителями электронов в мире к началу XXI в. составляла более 20 МВт [1].

Мощные радионуклидные источники позволили в промышленных масштабах целенаправленно изменять свойства существующих мате-

риалов и соединений, ускорять протекание химических реакций. Появилась радиационно-химическая технология [2, 3]. Так, радиационная вулканизация каучуков позволяет повысить прочность, термостойкость и морозостойкость резинотехнических изделий. Разработан процесс радиационного получения термостойкой самослипающейся изоляционной ленты и резинотекстоткани. Радиационная обработка сточных вод [4] позволяет проводить их доочистку и обеззараживание до уровня повторного их использования.

Наиболее перспективным направлением в радиационной химии является радиационная полимеризация, позволяющая синтезировать новые химические материалы, которые невозможно получить другим путем [5, 6]. Исследовательские и проектно-конструкторские работы показали, что при энергетических ядерных реакторах могут быть созданы радиационно-химические установки. Создание таких радиационно-химических установок приведет к крупномасштабной реализации радиационных технологий [3], что повысит экономическую эффективность АЭС и АСТ.

Основным параметром, характеризующим взаимодействие излучения с веществом, является поглощенная доза в облучаемых объектах. От правильности и точности определения поглощенной энергии зависят эффективность работы радиационно-химического аппарата, качество продукции, связанное с радиационным способом производства, а также технико-экономические показатели всего процесса в целом [7]. Появилось новое самостоятельное направление в области измерения ионизирующих излучений – технологическая дозиметрия.

Некоторые направления проведения радиационных технологий. Технологические процессы с использованием радионуклидных источников гамма-квантов

1. Радиационная вулканизация самослипающихся материалов.

2. Производство паркета, радиационная модификация волокнистых и гипсополимерных плит.

3. Производство полиэтиленовых труб.

Технологические процессы с использованием ускорителей электронов (Россия)

1. Производство термоусаживаемой полиэтиленовой пленки.

2. Отверждение лакокрасочных покрытий на древесине, металлах и плитах.

3. Радиационное модифицирование трубок и изоляции проводов и кабелей.

4. Производство изоляционных материалов.

5. Радиационная вулканизация резинотканевых материалов.

6. Радиационная вулканизация шприцованных материалов.

7. Радиационное модифицирование полиэтиленовых трубок.

8. Радиационное модифицирование полиэтиленовых пленочных изделий и жил.

9. Производство полимерных матриц для формирования железобетонных изделий.

10. Радиационная очистка грунтовых вод и промышленных стоков.

Цель обзорной статьи

Для продвижения в теоретической части и практической реализации достижений и разработок по мирному использованию атомной энергии, с учетом востребованности во многих сферах человеческой деятельности, обосновать и сформулировать предложение о создании центра коллективного пользования «Ядерно-физические методы» (с обеспечением современным оборудованием и приборами). Центр обеспечит реализацию образовательных и исследовательских программ в области меченых атомов, радиационных технологий, радиационных измерений и радиационной безопасности.

Основные промышленные технологии с ускорителями электронов, созданные за рубежом [1]

Отверждение покрытий на древесине, металле, бумаге, пластмассах и др.	
Страна	Число установок, шт.
США	12
Япония	2
Нидерланды	2
Франция	3
Вулканизация каучуков и резин, элементов, шин; производство изоляционных материалов	
США	4
Япония	2
Франция	4
Италия	1
Производство термоусаживаемой полиэтиленовой пленки	
Франция	1
США	9
Япония	4
Производство сшитых поропластов	
Великобритания	3
США	3

Германия	1
Япония	4
Производство ионообменных и сепарационных мембран	
Япония	1
Модифицирование трубок и изоляции проводов и кабелей	
США	28
Япония	23
Германия	27
Очистка сточных вод	
США	2
Очистка отходящих газов от оксидов азота и серы	
Япония	3
Франция	3
США	6
Великобритания	8
Производство паркетной планки	
США	20
Индия	10

Радиационно-технологические процессы в твердых и жидких фазах

1. Технология радиационно-модифицированных бетоно-, асбесто- и туфополимерных материалов и изделий.
2. Гипсо- и фосфогипсополимерные материалы (искусственный мрамор).
3. Радиационная вулканизация эластомеров.
4. Радиационная очистка сточных вод.

Радиационно-технологические процессы в газовой фазе

1. Радиационная очистка электролитического хлора от водорода.
2. Радиационное производство фосгена.
3. Радиационное хлорирование метана.
4. Радиационно-термические процессы получения хлористого винила, стирола и α -олефинов.
5. Радиационная теломеризация этилена с четырёххлористым углеродом.
6. Радиационное производство бромистого этила.

Радиационная технология нефти

Разработанный под руководством академика Н. К. Надилова радиационно-термический крекинг нефти (РТК), использующий энергию ионизирующего излучения для инициирования превращений углеводородов. В отличие от традиционного термического крекинга процессы РТК протекают при более низких температурах и атмосферном давлении. Кроме того, облуче-

ние на 40 % уменьшает энергетические затраты. Радиационная обработка приводит не только к снижению энергетических затрат, но и увеличивает выход бензиновых и дизельных фракций, что дополнительно в 1,5 раза уменьшает затраты на производство моторных топлив. Авторами на основе применения РТК предложена принципиально новая схема переработки нефтяного сырья.

Обеспечение радиационной безопасности

Состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения. Радиационная безопасность персонала, населения и окружающей природной среды.

Радиационная безопасность – новая научно-практическая дисциплина, возникшая с момента создания атомной промышленности, решающая комплекс теоретических и практических задач, связанных с уменьшением возможности возникновения аварийных ситуаций и несчастных случаев на радиационно-опасных объектах.

В настоящее время существует разработанная система допустимых пределов воздействия ионизирующего излучения на человеческий организм, оформленная в виде законодательных документов Норм Радиационной безопасности (НРБ) [8].

Действие ионизирующего излучения на живой организм интересовало мировую науку с момента открытия и первых же шагов применения радиоактивных веществ, ионизирующего излучения [9]. Исследователи столкнулись с отрицательными эффектами ионизирующего излучения по отношению к человеку. Так, в 1895 году помощник Рентгена В. Груббе получил радиационный ожог рук при работе с рентгеновскими лучами, а французский ученый А. Беккерель, открывший радиоактивность, получил сильный ожог кожи от излучения радия [9]. Таких и более серьезных случаев достаточно много на всем протяжении истории применения радионуклидов и ионизирующих излучений, что заставляет хорошо задуматься о радиационной безопасности не только исследователей-экспериментаторов, работников в области радиационных технологий, но и той части населения, которая находится на территории возможного воздействия радиационных объектов.

Ионизирующие излучения и радионуклиды нашли применение во многих областях человеческой деятельности. Получен уникальный опыт использования атомной энергии, радиоак-

тивных веществ и ионизирующих излучений, в том числе «горький» опыт из-за отсутствия достаточного уровня необходимых и всесторонних знаний в этой специфической области, и уровня культуры обращения с ядерными материалами, радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения.

Недостаточность кругозора и глубины усвоенных знаний, в том числе приобретенных в результате практического применения ядерно-физических методов приводит не только к непониманию окружающего мира, но и к чреватым последствиям для конкретного человека, окружающей среды и населения. Выявленные (неоднократно) случаи радиоактивного загрязнения окружающей среды, переоблучение, наличие неучтенных радиоактивных веществ, источников ионизирующего излучения и радиоактивных отходов (потеря контроля обращения с ними), необдуманные действия и нагнетание социальной напряженности – все это подтверждает отсутствие достаточного теоретического уровня усвоенных знаний и осмысления практических навыков, приобретенных в результате развития данной области.

Сфера применения радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений весьма многогранна.

В процессе освоения и применения энергии атомного ядра в окружающую среду поступали и поступают радиоактивные вещества, природного и искусственного происхождения.

Естественный радиационный фон обусловлен космическим излучением, а также наличием радиоактивных элементов и газов в земной коре, водоемах, атмосфере [10, 11]. В обычных условиях организм человека подвергается облучению от естественных источников ионизирующего излучения.

Доза от внешнего проникающего излучения создается [10]:

- космическим излучением;
- гамма-излучением радиоактивных изотопов, содержащихся в почве;
- гамма-излучением радиоактивных изотопов, содержащихся в строительных материалах жилых построек;
- гамма-излучением радиоактивных изотопов, присутствующих в атмосферном воздухе.

В организм человека радиоактивные вещества непрерывно поступают с водой, воздухом и пищевыми продуктами и удаляются в процессе обмена. При этом в организме существу-

ет определенное равновесие и определенный состав естественно-радиоактивных изотопов. В воде содержатся радиоактивные изотопы Калий-40, Радон с продуктами распада (долгоживущие Свинец-210 и Полоний-210 и др.) и Торон с продуктами распада, и в меньшей степени Радий и Торий с продуктами их распада. В воздухе содержится в основном Радон с продуктами распада (долгоживущие Свинец-210 и Полоний-210 и др. [12]) и Торон с продуктами распада, а также газообразные радиоактивные изотопы Углерод-14 и Тритий. Изотопы радона широко распространены в природе: их находят в горных породах, водах, атмосферном воздухе, природных газах, нефти [11, 13]. Все пищевые продукты, в процессе обмена с окружающей средой, содержат (в заметных количествах) указанные радиоактивные изотопы [10].

Содержание природных радионуклидов в организме человека [10]: Углерод-14 около 3000 Бк; Калий-40 более 6000 Бк; Радий-226 около 10 Бк; Тритий около 4 Бк. В организме человека природных радионуклидов столько, что каждую секунду распадается около 10000 ядер, выбрасывая в организм около 10000 бета-частиц и гамма-квантов.

Наибольшая (в продуктах питания) удельная активность (концентрация) природного радионуклида Калий-40 в соевой муке – около 700 Бк/кг (в одном килограмме соевой муки распадается каждую секунду 700 ядер радионуклида Калий-40). Удельная активность сухого гороха – около 300 Бк/кг [10].

В продаже (в продуктовых магазинах) появилась соль (пищевая) с содержанием хлористого калия. Природный химический элемент калий состоит из трех изотопов: двух стабильных – Калий-39 (93,08 %) и Калий-41 (6,91 %) и одного радиоактивного Калия-40 (0,01 %) [14]. Удельная активность пищевой соли, содержащей хлористый калий, имеет значение ~ 3000 Бк/кг.

Суммарная доза, которую получает организм человека от природных радиационных факторов, складывается из внешнего облучения за счет естественного радиационного фона (космическое излучение, от радионуклидов почвы, строительных материалов и радионуклидов присутствующих в атмосферном воздухе) и внутреннего облучения от радионуклидов, находящихся в организме человека: Углерод-14, Тритий, Калий-40, Радий-226 (поступающими с пищевыми продуктами), Радон с продуктами распада (долгоживущие Свинец-210 и Поло-

ний-210 и др. [12]), Торон и Углерод-14 (поступающими ингаляционным путем [15]).

Годовые дозы от естественных источников ионизирующего излучения, в зависимости от места проживания человека на земле, могут отличаться в 6–7 раз [10]. В жилых и производственных помещениях содержание радиоактивных газов радона и торона всегда превышает их содержание в воздухе вне помещений. Особенно высокие (выше допустимых) значения объемных активностей радона имеют место при отсутствии вентиляции и в помещениях, расположенных в полуподвалах и подвалах зданий.

Дополнительно к облучению, вызванного естественным радиационным фоном, организм человека может получить дозу внешнего облучения при нахождении: вблизи источников ионизирующего излучения и на загрязненных территориях, а дополнительное внутреннее облучение от радиоактивного загрязнения продуктов питания, воды и воздуха, в том числе в результате выпадения на почву продуктов сгорания ископаемых сланцев и углей [16].

Источники и условия, повышающие вероятность дополнительного облучения населения и работников предприятий:

1. Радиоактивные вещества, попадающие в окружающую среду в процессе проведения исследований, применения их в радиоизотопных приборах, в радионуклидной диагностике, в том числе в ядерной медицине (диагностика и радиотерапия), транспортировка радиоактивных веществ, падение спутников с ядерными установками.

2. Хищение ядерных материалов и радиоактивных веществ, умышленное разрушение устройств, содержащих радионуклиды.

3. Технологические выбросы радиационных объектов (атомные исследовательские реакторы, атомные станции, производство ядерного оружия, производство ядерного топлива).

4. Радиоактивные загрязнения территорий в результате аварии на ЧАЭС и Уральской аварии.

5. Радиоактивные загрязнения полигонов испытания ядерного оружия.

6. Объекты захоронения радиоактивных отходов, в том числе хранение отработанного ядерного топлива АЭС.

7. Вынос на поверхность вскрышных и выбуренных пород, содержащих природные радионуклиды, в процессе разработки некоторых месторождений полезных ископаемых [17].

8. Природные радионуклиды, извлекаемые в процессе добычи и переработки нефти и газа.

Например, обнаружена высокая концентрация урана в нефтяных залежах на Апшероне и в Азербайджане. Это делает актуальной задачу жесткого контроля за содержанием природных радионуклидов в различных видах добываемого из недр Земли сырья, особенно если твердые отходы в дальнейшем будут перерабатываться в промышленности строительных материалов, применяться для отсыпки дорог и иных целей.

В проведенных исследованиях отмечено, что межколонные рапоносные жидкости имеют наибольшие величины бета-активности [17]. Имеет место вынос радиоактивных веществ поступающей нефтью и газом из скважин и дальнейшее их перераспределение в зависимости от технологии подготовки и переработки сырья.

На некоторых предприятиях: нефтегазодобывающих и нефтегазоперерабатывающих, химических и нефтехимических имеют место природные радионуклиды, содержащиеся в добываемом и перерабатываемом сырье, в катализаторах, материалах футеровки и других изделиях.

Для обеспечения радиационной безопасности населения и работников организаций (на объектах нефтегазового комплекса России) разработаны Санитарные правила СП 2.6.1.1291-2003 и утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ.

Для обеспечения радиационной безопасности населения, при воздействии природных источников ионизирующего излучения в производственных, коммунальных условиях и быту, разработаны Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2800-10 и утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ.

Радиоактивные загрязнения территорий и поступление радиоактивных веществ в среду обитания человека в результате проведения ядерных взрывов (1965–1988 гг.) для промышленных, народнохозяйственных и научных целей [18]

Мирные ядерные взрывы (МЯВ) в СССР проводились в рамках секретной «Программы № 7» [19]. По заказам восьми отраслевых союзных министерств в период с 1965 г. по 1988 г. было осуществлено (в интересах народного хозяйства) 124 мирных ядерных взрыва, из них 81 – на территории Российской Федерации, 38 – на территории Казахстана, по два взрыва – на Украине и в Узбекистане и один – в Туркмении. Вне границ ядерных полигонов осуществлено

117 взрывов, из них три («Глобус-1» в Ивановской области, «Кратон-3» и Кристалл в Якутии) сопровождалась авариями, при которых произошла утечка продуктов радиоактивного распада.

В то же время академик А. В. Яблоков приводит другие цифры [19]. В 169 мирных ядерных взрывах было подорвано 186 ядерных устройств. При этом официально, по данным ВНИПИпромтехнология Минатома, загрязнение территории произошло в четырех случаях (объекты «Кратон-3», «Кристалл», «Тайга» и «Глобус-1»). По данным ЦНИИАтоминформ Минатома, к 1994 году (то есть спустя 20–30 лет после проведения МЯВ) в 24 случаях из 115 остались «локальные надфоновые загрязнения вокруг скважин».

В мирных целях атомные взрывы производились в двух государствах: СССР и США, аналогом данной программы в США был проект «Плаушер», запущенный в 1957 году и свернутый в 1973 году [19].

С помощью подземных ядерных взрывов гасили аварийные газовые фонтаны и проводили глубинное сейсмическое зондирование земной коры для поиска перспективных месторождений нефти и газа. Интенсифицировали добычу нефти и создавали емкости в каменной соли для хранения газоконденсата, образовывали полости на больших глубинах для захоронения биологически вредных отходов и многое другое.

Для создания подземных емкостей с целью захоронения промышленных стоков Салаватского нефтехимического комбината и Стерлитамакского содово-цементного комбината проведены два взрыва по 10 килотонн в 100 км южнее города Уфа.

Для интенсификации добычи нефти и газа произведены ядерные взрывы:

- пять взрывов в 10 км к северо-западу от города Мелеуза на Грачевском нефтяном месторождении;
- два взрыва в 10 км южнее города Оса, на Осинском нефтяном месторождении;
- пять взрывов в 20 км юго-восточнее города Красновишерск, на Гежском нефтяном месторождении;
- один взрыв в 90 км севернее Ставрополя (интенсификация добычи газа);
- один взрыв в 12 км северо-восточнее поселка Пальянова Октябрьского района;
- в 10 км северо-восточнее поселка КС-5, окрестности города Пыть-Ях;
- пять взрывов в 120 км юго-западнее горо-

да Мирный, на Среднеботуобинском нефтяном месторождении;

В 1972 году в 20–21 км северо-восточнее Кировска, произведен ядерный взрыв с целью дробления апатитовой руды. В 1984 году там же был произведен аналогичный взрыв.

Нет сомнений в том, что радиоактивные вещества, оставшиеся в центральной зоне взрыва, могут оказывать влияние на характер радиационной обстановки на поверхности земли, то есть на территории объекта. Например, на территории Южного Федерального округа было произведено 17 ядерных взрывов, в том числе, на территории Астраханского газоконденсатного месторождения (40 км от Астрахани, 1980–1984 годы) – 15 ядерных взрывов (объект «Вега» – создание подземных емкостей ПЕ для хранения газоконденсата). Из 15 (созданных ядерной взрывной технологией) емкостей одна сухая, остальные 14 емкостей заполнены активной жидкостью (рассол, конденсат) [17]. Самое безопасное и наиболее рациональное решение – оставить загрязненные продукты в местах их образования, надежно изолировав их от среды обитания человека не менее чем на 300 лет. Имеется зарубежный опыт захоронения твердых среднеактивных отходов в ряде стран [17] (ФРГ, Нидерланды, США). Радиоактивно загрязненное технологическое оборудование и грунт, образовавшиеся в процессе проведения ликвидационно-консервационных работ на скважинах объекта «Вега», проектируется захоронить в ПЕ, предварительно освободив их от конденсата.

Подземные хранилища ПЕ, расположенные на территории АГКМ, являются загрязнителями, так как содержат радиоизотопные вещества и таковыми будут не менее 300 лет.

Для обеспечения радиационной безопасности на объектах хранения газового конденсата в подземных резервуарах, образованных с применением ядерно-взрывной технологии, разработаны Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2622-10 и утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ.

Специалисты считают, что при высоком уровне нестабильности эксплуатационных параметров не исключается возможность выхода радиоактивных веществ на поверхность земли через любую скважину [18]. Внутри самых глубоких геологических структур происходит смещение пластов, что приводит к дальнейшему распространению радиоактивных веществ по всему нефтяному месторождению [18].

В Пермской области эксперименты по интенсификации добычи нефти и газа с использованием ядерных взрывных технологий проводились на Осинском нефтяном месторождении. За время эксплуатации месторождения в недрах промысла произошло распространение радионуклидов далеко за пределы опытного участка. При этом более чем из 200 скважин добывалась загрязненная продукция [18].

В настоящее время Осинское месторождение эксплуатируется ООО «Лукойл-Пермнефть», руководство которого уделяет должное внимание контролю радиационной обстановки и обеспечению безопасности персонала на производственных объектах месторождения.

Контроль за радиационной обстановкой включает измерения [18]:

- мощности дозы гамма-излучения: на площадках, от скважинного оборудования и грунта, от поверхности промыслового оборудования и др.;
- плотности потока бета- и альфа-частиц от грунта;
- удельной активности грунта и отложений;
- объемной активности радона;
- объемной активности радионуклидов, в том числе трития, в нефти и попутной воде;
- уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды.

Контроль за радиационной обстановкой с принятием опережающих мер позволили обеспечить радиационную безопасность на Осинском, Рассветном, Маячном, Баклановском, Горском и на других месторождениях нефти в Пермской области. Решение этого важного, сложного, требующего больших усилий и материальных затрат вопроса позволило проводить работы не нарушая Федеральный закон, нормы, правила и требования.

На территории Республики Саха (Якутия), по заказу Министерства геологии СССР (1974–1987 гг.), было осуществлено семь опытно-промышленных ядерных взрывов для интенсификации притоков нефти на стадии разведки [18]. Следует отметить, что находящиеся в зонах взрыва и газ, и нефть загрязнены тритием и другими радионуклидами, при этом степень загрязнения превышает нормативные уровни. При осуществлении взрыва (Кратон-3) возникла нештатная радиационная ситуация – произошел ранний выход неразделенной смеси продуктов взрыва. Измеренные значения мощности дозы на расстоянии 30 км от разгермети-

зированной скважины доходили до 50 мР/час (~ в 5000 раз выше естественного фона). По результатам гамма-спектрометрического анализа древесины молодых лиственниц, выросших после аварии на месте погибшего леса, содержание радионуклида цезий-137 доходило до 5000 Бк/кг [18].

При ведении буровых работ на Кумжинском нефтяном месторождении произошла экологическая авария – выброс нефти и газа (1980 г.) [18]. После ряда безуспешных попыток «задавить» скважину было принято решение применить подземный ядерный взрыв.

Места проведения мирных ядерных взрывов в настоящее время начинают вовлекаться в такую сферу деятельности, которая первоначально не являлась целью взрыва. При этом лицензии на разработку полезных ископаемых, находящихся, например, вблизи объектов глубинного сейсмического зондирования, выдаются местными властями без учета того, что в недрах находятся центральные зоны ядерных взрывов, содержащие радиоактивные вещества [18].

Для обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965–1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях разработаны Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2819-10 и утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ.

Радиоактивное загрязнение среды обитания человека имело место в результате ядерных испытаний (испытания ядерного оружия). Всего было зафиксировано 2053 ядерных взрыва [20], начиная с 1945 года (США). Их производили пять стран: США, СССР, Англия, Франция и Китай. Первый испытательный наземный ядерный взрыв был произведен вблизи населенного пункта [20]. Атомное оружие испытывали и в процессе проведения войсковых учений с целью подготовки солдат к правильному его восприятию [20].

Радионуклиды (цезий-137, стронций-90, углерод-14), образовавшись при испытаниях в атмосфере, в большей своей части были «вброшены» в стратосферу, где они перемещались, глобально распределялись и затем в течение длительного времени стали выпадать в различном количестве на поверхность земного шара [20].

Наличие радиационного фактора природного и искусственного происхождения: действующие радиационные объекты (в том числе атомные исследовательские реакторы и атом-

ные станции), скопления радиоактивных веществ от ядерных взрывов, места захоронения радиоактивных материалов (в системе РосРАО), производство и широкое применение радиоактивных изотопов и ионизирующих излучений во многих областях человеческой деятельности, повышает вероятность превышения допустимых уровней облучения и радиоактивного загрязнения территорий.

В нефтяной и газовой промышленности облучение работников происходит намного чаще, чем в системе Минатома. Для контроля герметичности трубопроводов используются приборы с мощными радиоактивными источниками. Например, при завершении работы радиоактивный источник Иридий-192 из-за сбоя механизма не вернулся в защитный контейнер, а остался снаружи, может быть даже выпал на землю [20]. Один из дефектоскопистов, забыв правила, схватил источник пальцами. Даже при кратковременном контакте участка тела с радионуклидным источником приводит к сильному лучевому ожогу. И такие случаи не единичны.

МЕЧЕННЫЕ АТОМЫ, МЕТОД РАДИОАКТИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ

(в коррозионных исследованиях, исследованиях трения, смазок и износа в лабораторных условиях и мониторинга в промышленных условиях)

«Я считаю, что во всемирной истории было мало случаев, когда для развития техники существовало такое обилие возможностей, какое существует в настоящее время для применения изотопов и излучений в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Безусловно, каждый человек, знакомый с техникой и со свойствами изотопов, может придумывать, по меньшей мере, одно новое применение каждые пять минут».

*Лауреат Нобелевской премии по химии
У. Либби*

Меченые атомы представляют интерес для большинства отраслей промышленности (бюллетень МАГАТЭ, том 29, № 2 25).

Справочник показывает, что практически все отрасли промышленности применяют меченые атомы, причем 68 % приходится на химическую технологию, а остальная часть – главным образом, на металлургию, разведку минералов, защиту окружающей среды и санитарии. Индикаторы применяются в лабораториях, например, при исследованиях механизма кинетической и химической реакции, на заводах для обнаружения и устранения неполадок (обнаружение утечек, блокировка трубопроводов), для определения характеристик контуров (скорости потоков, неподвижный объем, соотношение ветвей распада, обходный путь) и для оптимизации процессов и управления ими. Они

Обеспечить радиационную безопасность работников предприятий и населения, и исключить попадание радиоактивных веществ в сырье, материалы, изделия, продукцию, в том числе в сельскохозяйственную и продукты питания, необходимо:

1. Иметь представление о радиоактивных веществах природного происхождения и искусственных, в теоретической и практической части.

2. Понимать механизмы распространения и распределения радиоактивных веществ из мест их локализации.

3. Знать допустимые уровни облучения персонала категорий А и Б, населения и радиоактивные загрязнения территорий, объектов и оборудования. Владеть методами защиты.

4. Владеть знаниями механизмов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

5. Знать методы измерения ионизирующих излучений, работу радиометров, дозиметров и гамма, бета-спектрометров.

6. Получить опыт проведения радиационного мониторинга территорий и объектов.

используются лабораториями для проведения исследовательских работ, а также правительственными или частными учреждениями, предоставляющими услуги на коммерческой основе. К числу коммерческих организаций относятся «Физика и радиоизотопы» ICI в Великобритании, Комиссариат по атомной энергии Франции, частная компания в Индии, занимающаяся лишь определением наличного количества ртути, и частная компания в Финляндии, специализирующаяся на измерениях скорости потоков. Успешная деятельность таких предприятий, работающих на основе закона спроса и предложения, – лучшее свидетельство экономической выгоды применения меченых атомов.

В развивающихся странах промышленное применение меченых атомов очень различно. Одни из них достигли уровня самых передовых

в этой области государств, например, Чили, Индия и Польша; другие придерживаются, как и некоторые развитые страны, того правила, что «постоянная времени» в 15–20 лет всегда необходима для внедрения новой технологии. Определенная дополнительная задержка вызывается также экономическими соображениями и отсутствием необходимой информации. Тем не менее, достигнуто в этой области немало.

Справочник по радиоактивным индикаторам, применяемым в промышленности

МАГАТЭ готовит в настоящее время широкий справочник по применению радиоизотопных индикаторов в промышленности, охватывающий круг вопросов от методологии применения меченых атомов до конкретных исследований для промышленного использования.

Основные разделы справочника:

- Концепция меченых атомов.
- Общая технология меченых атомов.
- Методология меченых атомов (меченые атомы и системный анализ, моделирование основного потока, информация о меченых атомах в моделировании крупных систем, информация о меченых атомах в решении сложных проблем, процессы с различными потоками и объемами).
- Общие виды применения (использование моделей потоков, оценка параметров, скорость потока, материальные балансы, характеристика и использование твердых индикаторов, эффективность смешения, обнаружение и устранение неполадок, диффузия, проницаемость, распределение частиц по размерам, коррозия и поверхностные явления, использование изотопов в механистических и кинетических исследованиях, двухфазовые потоки, управление процессом, кинетические параметры).
- Конкретные исследования (химическая промышленность, бумажная и целлюлозная промышленность, нефтяная промышленность, цементная промышленность, металлургическая промышленность, энергетика, электронная промышленность, механика, технология защиты окружающей среды и санитарии, минералогия).
- Наблюдаемые тенденции в разработках и применении.

Опыт работ с применением «меченых» атомов

Волгоградское предприятие ЗАО «Титан-Изотоп» с 1964 года провело значительное количество работ в промышленных и лабораторных условиях с применением «меченых» атомов.

I. Работы по контролю и наладке технологических процессов в химической, нефтеперерабатывающей промышленности, в производстве цемента, и в металлургии.

- Оценка качества и эффективности работы очистных установок и сооружений.
- Контроль работы пылеулавливающих установок.
- Определение гидродинамических характеристик процессов и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств.
- Определение кинетики химических превращений.
- Оценка массообменных процессов.
- Оптимизация процесса перемешивания технологических сред.
- Оптимизация процесса промывки латексных гелей.
- Оптимизация работы массообменных аппаратов.
- Определение фактического количества ртути в электролизерах производства хлора и каустика, и других материалов в замкнутых системах.
- Исследование металлических сплавов методом автораддиографии.
- Определение износа футеровки тепловых агрегатов.

II. Работы по аналитическому контролю в лабораторных и промышленных условиях.

- Определение «следовых» концентраций растворенного вещества.
- Определение эффективности моющих средств.
- Определение диффузии технологических сред и их компонентов в конструкционные материалы.
- Определение сорбционных характеристик различных материалов.
- Определение шаржирования поверхностей.
- Коррозионный мониторинг и определение износа технологического оборудования.
- Определение селективного растворения.
- Определение кинетики и механизма химических реакций.
- Определение газопроницаемости различных полимерных и композиционных материалов.
- Контроль герметичности оборудования и его элементов.
- Контроль герметичности транспортных и внутризаводских нефтяных, химических и газовых продуктопроводов.

Некоторые работы, выполненные предприятием ЗАО «Титан-Изотоп»

1. Отработка технологии получения титановых сплавов (комбинат, г. Верхняя Салда).
2. Отработка режимов адсорбции органических кислот на металлических поверхностях.
3. Определение скорости коррозии в технологических установках химических и нефтеперерабатывающих предприятий (химические предприятия в городах: Волгоград, Первомайск; нефтеперерабатывающие предприятия в городах: Волгоград, Москва, Нижнекамск, Кстово) [21].
4. Определение диффузии компонентов коррозионной среды в материалы технологического оборудования (г. Ленинград, г. Львов, г. Каменск-Уральский).
5. Определение путей попадания примесей в процессе выращивания монокристаллов.
6. Совершенствование методов экологичес-

кого контроля межколонных проявлений в скважинах АГКМ [17].

Система коррозионного мониторинга
(пример реализации в промышленности [21])

В системе коррозионного мониторинга применяются образцы-свидетели, имеющие радионуклидную метку – кобальт-60. Метод прошел многолетние испытания на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности: НГДУ (г. Жирновск); завод «Пластмасс» г. Шевченко; ВПО «Каустик»; ПО «Химпром»; ЗОС г. Волжский; Химзавод г. Первомайск; Волгоградский НПЗ (АВТ-6); Московский НПЗ (АВТ-3); Химзавод, г. Уфа; НПЗ (АВТ-4, АВТ-5, АТ-6) г. Кстово; ПО «Нижнекамскнефтехим» (АВТ-7).

В результате проведения коррозионного мониторинга получены положительные результаты. Скорость коррозии, например, на установке АВТ-4 удалось снизить более чем в 40 раз.



Образец-свидетель (после облучения), содержащий радионуклиды (кобальт-60), установлен в трубопроводе технологической установки АВТ

Контроль коррозии по образцам-свидетелям с кобальтом-60 в технологической установке АВТ-4 (см. рисунок) позволил на протяжении 900 суток непрерывного контроля поддерживать среднее значение скорости коррозии не выше 0,06 мм/год. За счет снижения скорости коррозии (повышения ресурса оборудования) и недопущения аварийных остановок получен экономический эффект в сотни миллионов рублей.

Выводы

Начиная с обнаружения лучей сильной проникающей способности, открытия электромагнитного ионизирующего излучения Рентгеном и Беккерелем, явления радиоактивности, природных и искусственных радионуклидов супру-

гами Пьером Кюри и Марией Кюри-Склодовской, берет начало история исследования и применения рентгеновского, гамма, бета, альфа-излучений и радионуклидов.

Сегодня стало очевидным, что мы живем в Мире, в котором есть место природным и искусственным радионуклидам, радиационному фону, природного и техногенного происхождения, радиационным объектам, радиационным авариям, радиоактивному загрязнению, повышенным и недопустимым дозам облучения.

Ионизирующие излучения и радионуклиды нашли применение во многих областях человеческой деятельности. Получен уникальный опыт применения радиоактивных веществ и ионизирующих излучений, в том числе «горький» опыт из-за отсутствия достаточного уровня

знаний в этой специфической области, и необходимого уровня культуры обращения с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения.

Слово «радиация» стало страшилкой и многие, не задумываясь, связывают с ним не механизм передачи энергии, а страшные катастрофы (Хиросима, Нагасаки, Чернобыль, Фукусима).

Отсутствие достаточной компетенции в областях использования ионизирующих излучений и радионуклидов, применения ядерно-физических методов и в условиях значимого воздействия природных радиационных факторов, приводит не только к непониманию окружающего мира, но и к чреватым последствиям, как для конкретного человека, так и для окружающей среды и населения.

Выявленные (неоднократно) случаи радиоактивного загрязнения окружающей среды, переоблучение, наличие неучтенных радиоактивных веществ, источников ионизирующего излучения и радиоактивных отходов, необдуманные действия и нагнетание социальной напряженности – все это подтверждает отсутствие достаточного теоретического уровня, усвоенных знаний и практических навыков в сферах человеческой деятельности, где имеют место ионизирующие излучения, радионуклиды, радиоактивные вещества и материалы, в том числе, природного происхождения.

Учитывая выше приведенную информацию, назрела необходимость рассмотреть вопрос по внедрению в учебный процесс (по направлению подготовки 140 800 «Ядерная физика и технологии») как вузовский компонент дисциплины: «Радионуклиды, меченые атомы, ионизирующие излучения-применение и измерение»; «Разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ»; «Разработка методов регистрации ионизирующих излучений и методов измерения количественных характеристик ядерных материалов»; «Новые методы лучевой диагностики»; «Радиационный мониторинг»; «Радиационная безопасность» по направлению «Бакалавриат» и «Магистерскому направлению»

Для устранения пробелов в системе высшего образования и повышения квалификации в сферах человеческой деятельности, где имеют место ионизирующие излучения, радионуклиды, радиоактивные вещества и материалы, и актуальны задачи радиационной безопасности считаю созревшей необходимостью органи-

зовать соответствующие лаборатории, кафедры и центр коллективного пользования.

Для формирования у специалистов на базе лекционного курса и практических занятий, знаний в области применения ионизирующих излучений, меченых атомов и проведения исследований с применением ядерно-физических методов, необходимо разработать методические пособия и создать при вузе кафедру «Ядерно-физические методы. Радионуклиды. Меченые атомы и радиационный мониторинг» и лаборатории:

1. Радиометрии.
2. Гамма, бета, альфа-спектрометрии.
3. МЭссбауэровской спектроскопии.
4. Радиоактивных индикаторов и меченых соединений.
5. Радионуклидной диагностики.
6. Рентгеновской диагностики.
7. Радоновую лабораторию.
8. Лабораторию изотопных эффектов.
9. Радиоизотопных приборов и информационно-измерительных систем на основе ядерно-физических методов.
10. Дозиметрии.
11. Активационного анализа.
12. Коррозии.
13. Радиоэкологии и радиационной безопасности.
14. Радиационного мониторинга.

Созданная методическая и инструментальная база позволит реализовать интеллектуальный и исследовательский потенциал, накопленный десятилетиями (в процессе проведения экспериментальных работ, научных и прикладных исследований) в области ионизирующих излучений, меченых атомов и радиационной безопасности. Подключиться к разработке и реализации программ: Образование, Экология, Устойчивое развитие и внести значимый вклад в развитие современного инновационного общества.

Создать Центр коллективного пользования «Ядерно-физические методы» (с обеспечением современным оборудованием и приборами) для проведения различных работ с мечеными атомами и в области радиационных технологий. Центр коллективного пользования позволит полноценно получать практические навыки в условиях действующего производства и проводить исследования с применением меченых атомов и ионизирующих излучений.

В составе центра могут быть: радиохимическая лаборатория (РХЛ); радоновая лаборато-

рия; лаборатория радиационного контроля (ЛРК); рентгеноструктурного анализа; рентгеноспектрального анализа; рентгеновской и радионуклидной дефектоскопии; лаборатория радиационных технологий, с мощными источниками ионизирующих излучений. Пользователи Центра: вузы, предприятия, исследовательские институты.

Методическая и инструментальная база лабораторий в вузах и лаборатории Центра коллективного пользования «Ядерно-физические методы» позволит соединить учебный процесс, науку и дополнительное образование с производством и обеспечит следующее:

- подготовку высококвалифицированных специалистов и научно-педагогических кадров;
- подготовку докторских, кандидатских диссертационных работ, в области: химии, физики, медицины, биологии, фармакологии, сельского хозяйства, экологии, материаловедения, и других направлений, где применимы ядерно-физические методы;
- выполнение фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в вузах и других заинтересованных организаций;
- организацию стажировок и курсов повышения квалификации для научных сотрудников предприятий и организаций по направлениям Центра;
- совершенствование методического обеспечения действующего оборудования и освоение нового;
- проведение школ, конференций, симпозиумов, развитие межвузовских, международных научно-технических связей;
- повышения квалификации в области мирного использования атомной энергии, радиационной безопасности, исследований и разработок с применением меченых атомов, ионизирующих излучений, в промышленности, строительстве и экологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокие технологии с использованием источников излучений в промышленности : учеб. пособие / Ю. Д. Козлов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
2. Режим доступа : http://fshq.ru/Radionuclides_and_their_application_in_the_national.
3. Проблемы производства и применения изотопов и источников ядерного излучения в народном хозяйстве СССР. – М. – ЦНИИатоминформ, 1988.
4. Радиационная очистка воды / П. И. Долин [и др.]. – М.: Наука, 1973.
5. Иванов, В. С. Радиационная полимеризация / В. С. Иванов. – Л.: Химия, 1967.
6. Иванов, В. С. Радиационная химия полимеров / В. С. Иванов. – Л.: Химия, 1988.
7. Генералова, В. В. Дозиметрия в радиационной технологии / В. В. Генералова, М. Н. Гурский. – М.: Изд-во стандартов, 1981.
8. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 (Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 07.07.2009).
9. Радиация. Дозы, эффекты, риск : пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
10. Белоусова, И. М. Естественная радиоактивность / И. М. Белоусова, Ю. М. Штуккенберг. – М.: Медгиз, 1961.
11. Природные изотопы гидросферы / В. И. Ферроуский [и др.]. – М.: Недра, 1975.
12. Гусев, Н. Г. Радиоактивные цепочки / Н. Г. Гусев, П. П. Дмитриев. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
13. Сердюкова, А. С. Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе / А. С. Сердюкова, Ю. Т. Капитанов. – М.: Атомиздат, 1969.
14. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества : справ. изд. / В. А. Баженова [и др.]. – Л.: Химия, 1990.
15. Радиационная безопасность в зданиях / О. П. Сидельникова [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
16. Радиационная безопасность и радиационный контроль / В. А. Кутюков [и др.]. – Обнинск : НОУ «ЦИПК», 2008.
17. Экологические аспекты разработки Астраханского газоконденсатного месторождения // Труды «Астрахань-НИПИгаза». – Астрахань, 1996 г. – 108 с.
18. Современная радиоэкологическая обстановка в местах проведения мирных ядерных взрывов на территории Российской Федерации / кол. авторов под ред. проф. В. А. Логачева. – М.: АТ, 2005.
19. Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Мирные_ядерные_взрывы_в_СССР.
20. Ядерные испытания в СССР. Северный испытательный полигон: справочная информация. – СПб., 1999.
21. Пастухов, Ю. В. Информационно-измерительная система определения параметров процесса промышленной коррозии с измерительным преобразователем на основе ядерно-физических методов : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / Пастухов Юрий Викторович; [Место защиты: Волгоградский государственный технический университет]. – Волгоград, 2014. – 101 с.

УДК 66.045

*А. А. Шурак, А. А. Шагарова, П. С. Васильев***МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: pahp@vstu.ru

Рассмотрены вопросы, связанные с моделированием работы промышленного теплообменного аппарата для охлаждения рабочей среды в технологическом процессе получения натра едкого очищенного. Разработана программа в табличном процессоре Microsoft Excel, позволяющая осуществить автоматизированный расчет технологических и конструктивных параметров кожухотрубного теплообменника. Рассмотрены варианты конструктивного оформления поверхности теплообмена кожухотрубчатого холодильника определяемые совместным решением системы уравнений теплового и материального баланса. Приведены результаты моделирования, устанавливающие влияние скорости хладагента при различных температурах на выходе и разном числе ходов пучка труб на значения поверхности теплообмена. Разработанная программа позволяет проводить анализ работы промышленных кожухотрубных теплообменников для нагревания и охлаждения технологических сред с целью определения оптимальных значений режимных и конструктивных параметров аппарата для сокращения энергозатрат при эксплуатации действующего и снижения металлоемкости вновь проектируемого оборудования.

Ключевые слова: моделирование, теплообменный аппарат, эффективность, поверхность теплообмена, коэффициент теплопередачи, технологические и конструктивные параметры.

*A. A. Shurak, A. A. Shagarova, P. S. Vasiliev***MODELING OF INDUSTRIAL HEAT EXCHANGER****Volgograd State Technical University**

Address issues related to the modeling work of industrial heat exchanger for cooling the working liquid in the process of obtaining purified caustic soda. Developed a program in tabular processor Microsoft Excel that allows you to implement an automated calculation of technological and design parameters of shell-and-tube heat exchanger. Considered a constructive exchange surface design options such fridge defined by joint decision of the system of heat and material balance equations. Simulation results are presented that establish the impact speed of the coolant at various temperatures at the outlet and different number of moves the beam pipe on heat exchange surface values. Developed the program allows analysis of shell-and-tube heat exchangers for industrial heating and cooling technology Wednesday with a view to determining the optimal values of operating and design parameters of reduction apparatus energy consumption during operation of existing and newly designed metal equipment.

Keywords: modeling, heat exchanger, efficiency, heat exchange surface, heat transfer coefficient, technological and design parameters.

В процессах химической технологии и нефтегазопереработки осуществляется нагрев исходного сырья, вспомогательных веществ (растворителей, реагентов и др.), а также охлаждение целевых продуктов и полуфабрикатов до требуемых температур. Данные процессы осуществляются в теплообменных аппаратах, которые предназначены для проведения процессов теплообмена при необходимости нагревания или охлаждения технологической среды с целью ее обработки или утилизации теплоты [1].

Перспективным направлением исследования работы промышленных теплообменных аппаратов является использование методов математического моделирования, позволяющих проводить анализ режимных параметров оборудования при варьировании допустимых зна-

чений технологических и геометрических характеристик с целью получения их оптимальных значений [2].

Целью исследования является анализ работы промышленного теплообменного аппарата, используемого в технологическом процессе получения натра едкого очищенного.

Общая схема одноходового кожухотрубного теплообменника предназначенного для охлаждения едкого натра водой представлена на рис. 1. Охлаждающая жидкость (вода) подается в трубный пучок, а охлаждаемый продукт (едкий натр) – в межтрубное пространство теплообменника. Движение теплоносителей происходит по противоточной схеме. Конструктивные параметры промышленного одноходового кожухотрубного теплообменника приведены в табл. 2.

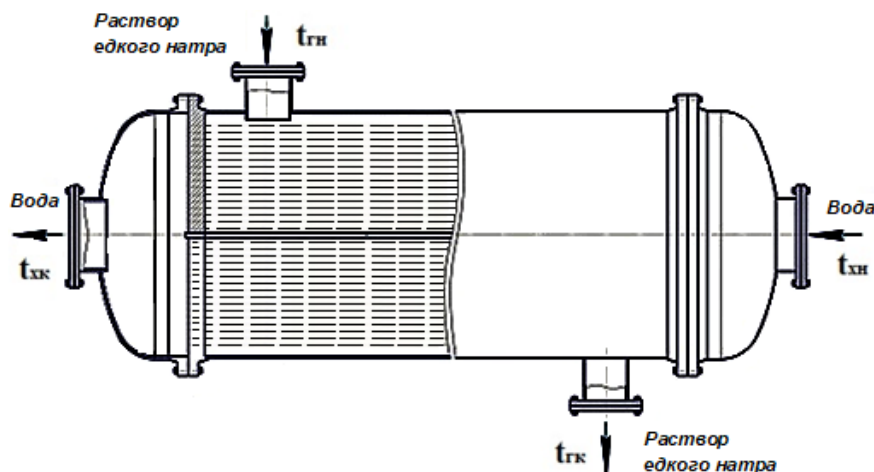


Рис. 1. Расчетная схема теплообменного аппарата

Задача исследования формулировалась следующим образом: по заданной производительности, начальным и конечным температурам теплоносителей и при известных геометрических характеристиках аппарата определить технологические параметры и установить оптимальный режим эксплуатации теплообменного аппарата, обеспечивающий снижение энергозатрат на проведение процесса.

Разработана программа в табличном процессоре *Microsoft Excel*, позволяющая осуществить автоматизированный расчет технологических и конструктивных параметров кожухотрубного теплообменника, в основе ко-

торой лежит алгоритм, представленный в работе [3].

В качестве варьируемых параметров рассматриваются массовый расход холодного потока, конечная температура хладагента, линейная скорость потока и число ходов по трубному пространству теплообменника.

Варианты конструктивного оформления поверхности теплообмена кожухотрубчатого холодильника определяются совместным решением системы уравнений теплового и материального баланса [4].

Исходные и справочные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные и справочные данные

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Исходные данные			
Объемный расход горячего теплоносителя	V_1	м ³ /ч	20
Начальная температура рабочей жидкости	$T_{гн}$	°C	60
Конечная температура рабочей жидкости	$T_{гк}$	°C	35
Начальная температура хладагента	$T_{хн}$	°C	25
Конечная температура хладагента	$T_{хк}$	°C	35
Параметры трубного пространства			
Теплопроводность теплоносителя	$\lambda_{тр}$	Вт/(м·К)	0,618
Вязкость теплоносителя	$\mu_{тр}$	Па·с	0,00121
Теплоемкость теплоносителя	$C_{тр}$	Дж/(кг·К)	4192
Плотность теплоносителя	$\rho_{тр}$	кг/м ³	995
Коэффициент объемного расширения	β	1/К	0,0039
Теплопроводность стенки труб	$\lambda_{ст}$	Вт/(м·К)	22,3
Параметры межтрубного пространства			
Теплоемкость теплоносителя	$C_{мтр}$	Дж/(кг·К)	3460
Вязкость теплоносителя	$\mu_{мтр}$	Па·с	0,00203

Окончание табл. 1

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Плотность теплоносителя	$\rho_{\text{мтр}}$	кг/м ³	1345,03
Теплопроводность теплоносителя	$\lambda_{\text{мтр}}$	Вт/(м·К)	0,637
Коэффициент, учитывающий влияние угла атаки при обтекании потока пучка труб	$\varepsilon_{\text{ф}}$	—	0,6
Коэффициент, учитывающий снижение средней движущей силы	$\varepsilon_{\Delta T}$	—	1
Наружный диаметр труб	$d_{\text{т}}$	м	0,02
Толщина стенки труб	δ	м	0,002

Для рассматриваемого аппарата выбираем независимые переменные, оптимальные значения которых должны быть найдены. Через них выражаем площадь поверхности теплообмена.

Пусть задана масса охлаждаемого теплоносителя G_1 , его температура на входе $T_{\text{гн}}$ и на выходе $T_{\text{гк}}$, а также температура охлаждающегося теплоносителя на входе $T_{\text{хн}}$.

Из условий теплового баланса определяем зависимость расхода хладагента от температуры на выходе $T_{\text{хк}}$:

$$G_2 = \frac{G_1 \cdot c_1 \cdot (T_{\text{гн}} - T_{\text{гк}})}{c_2 \cdot (T_{\text{хк}} - T_{\text{хн}})} \quad (1)$$

Теперь, задавая ряд допустимых температур хладагента на выходе из теплообменника $T_{\text{хк}}^{(i)}$, по известному алгоритму рассчитываем соответствующие значения площади поверхности теплообмена $F^{(i)}$.

При этом коэффициент теплопередачи будет зависеть от скорости движения теплоносителя $K = K(v)$. Поэтому для каждого значения температуры хладагента на выходе из теплообменника определяем необходимую поверхность теплообмена при различных скоростях движения теплоносителя в трубах. Для развитого турбулентного режима допустимые значения скоростей теплоносителя лежат в диапазоне: 0,4÷2,5 м/с [5–7].

С другой стороны, поверхность теплообмена в кожухотрубном теплообменнике определяется выражением:

$$F = n \cdot N \cdot p \cdot d \cdot l, \quad (2)$$

где n – число ходов; N – число труб в пучке; d – диаметр труб, м; l – длина труб (один ход), м.

Согласно уравнению материального баланса число труб в пучке (N) определяется массовым расходом холодного теплоносителя и его скоростью в виде:

$$N = \frac{4 \cdot G_2}{v \cdot p \cdot d^2 \cdot r_2} \quad (3)$$

В результате подстановки уравнения (2) в уравнение (3) получим:

$$F = n \cdot \frac{4 \cdot G_2}{v \cdot p \cdot d^2 \cdot r_2} \cdot p \cdot d \cdot l = \frac{4 \cdot G_2 \cdot n \cdot l}{v \cdot d \cdot r_2}$$

Расход хладагента G_2 определяется его температурой на выходе $T_{\text{хк}}$. Кроме того, при постоянном диаметре и длине труб для различного числа ходов пучка труб $n = 2, 4, 6, 8$ и т. д. получают зависимость поверхности F от скорости холодного теплоносителя, представленную на рис. 2, а, при $T_{\text{хк}} = 35$ °С. Тогда, задавая различную температуру хладагента на выходе $T_{\text{гк}}$, получают зависимость $F = F(n, v)$ показанную на рис. 2, б, при $n = 2$.

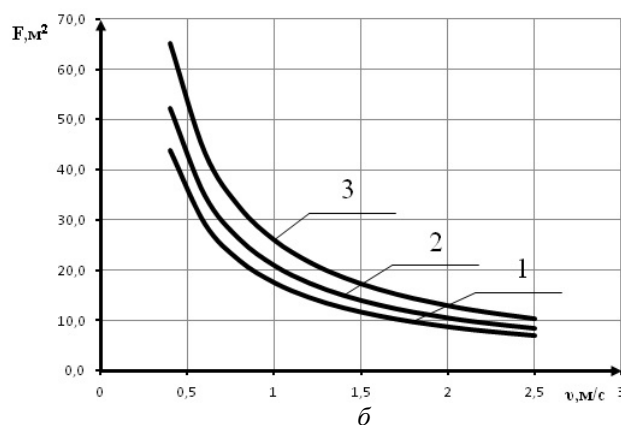
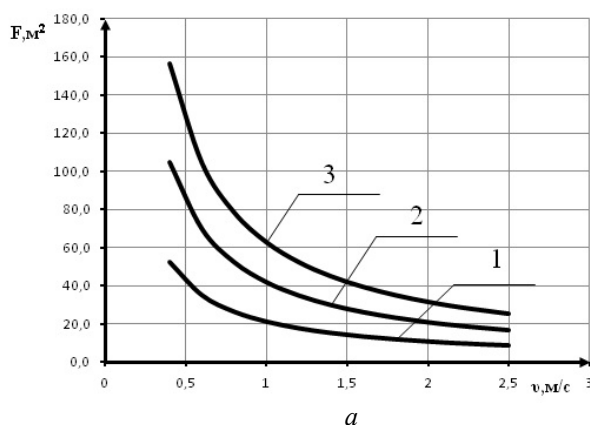


Рис. 2. График зависимости поверхности теплообмена от скорости движения теплоносителя: а – 1 – при $n = 2$; 2 – при $n = 4$; 3 – при $n = 6$; б – 1 – при $T_{\text{хк}} = 40$ °С; 2 – при $T_{\text{хк}} = 37,5$ °С; 3 – при $T_{\text{хк}} = 25$ °С

Очевидно, что искомое решение должно одновременно удовлетворять как уравнению теплового баланса, так и уравнению массового расхода хладагента. Графически это отображено на рис. 3. Это означает, что искомое решение соответствует точке пересечения кривых $F = F(T_{\text{жк}}^{(i)}, v)$ и $F = F(n, v)$. Найденным точкам пересечения кривых отвечают требуемые значения поверхности теплообмена F и скорости хладагента при различных температурах хладагента на выходе и разном числе ходов пучка труб.

Таким образом, на основании полученных результатов выбираются варианты конструкций теплообменных аппаратов из стандартного типопараметрического ряда (табл. 2).

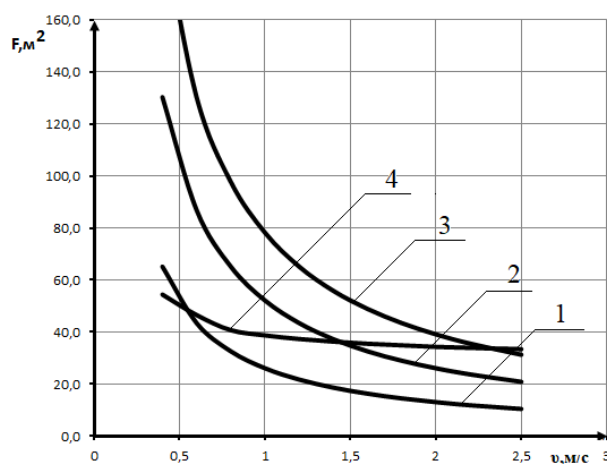


Рис. 3. График совместного решения уравнений теплового баланса и массового расхода:

1 — при $n = 2$; 2 — при $n = 4$; 3 — при $n = 6$; 4 — $F = F(T_{\text{жк}}^{(i)}, v)$

Таблица 2

Параметры кожухотрубных холодильников по ГОСТ 15118-91

№	Диаметр кожуха D , м	Наружный диаметр труб d , м	Толщина стенки δ , м	Число ходов по трубному пространству, z	Число труб в пучке, N	Длина труб l , м	Поверхность теплопередачи F , м²
1	0,6	0,02	0,002	1	389	3	73
2	0,6	0,02	0,002	2	370	3	70
3	0,6	0,02	0,002	4	334	3	63
4	0,6	0,02	0,002	6	316	3	60

Далее проводится расчет всех выбранных вариантов теплообменных аппаратов по разработанной программе. Результаты расчетов представлены в табл. 3. Анализ результатов расчета показывает, что с увеличением числа ходов с ростом скорости движения теплоносителя возрастают значения коэффициента теплоотдачи теплоносителя в трубах и общего коэффициента теплопередачи, что приводит к снижению тре-

буемой поверхности теплообмена. Однако увеличение скорости движения теплоносителя в трубах вызывает рост гидравлического сопротивления и, как следствие, повышение энергозатрат на прокачку теплоносителя. Очевидно, что оптимальным решением является вариант двухходового теплообменного аппарата, позволяющим снизить расход хладагента и уменьшить энергозатраты на проведение процесса.

Таблица 3

Результаты расчетов

№	Число Рейнольдса в трубах $Re_{\text{тр}}$	Число Рейнольдса в межтруб. простр. $Re_{\text{мтр}}$	Коэффициент теплоотдачи в трубах $\alpha_{\text{тр}}$, Вт/(м²·К)	Коэффициент теплоотдачи в межтруб. простр. $\alpha_{\text{мтр}}$, Вт/(м²·К)	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·К)	Поверхность теплопередачи F_p , м²	Запас поверхности Δ , %
1	2935	2720	1007,7	1807,6	611,5	72,4	0,8
2	6171	2720	1967	1807,6	868,6	56,67	23,5
3	13672	2720	4465,1	1807,6	1153,58	42,67	47,7
4	21676	2720	6455,8	1807,6	1253,43	39,27	52,8

Таким образом, разработанная программа может быть использована для экспресс-оценки режима работы промышленных кожухотруб-

ных теплообменников и создания технических мероприятий по модернизации конструкций действующих аппаратов, а также выбора наи-

более оптимального решения на стадии проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, И. А. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена: монография / И. А. Попов, Х. М. Маханов, В. М. Гуреев; под общ. ред. Ю. Ф. Гортышова. – Казань: Логос, 2012. – 559 с.
2. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения: каталог / ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 106 с.
3. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии. Ч. 1: учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов; ВолгГТУ. – Волгоград, 1994. – 114 с.
4. Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных химико-технологических производств / В. В. Кафаров, М. Е. Глебов. – М.: Высшая школа, 1991. – 399 с.
5. Поникаров, И. И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: Учебник для вузов / И. И. Поникаров, М. Г. Гайнуллин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Альфа-М, 2006. – 608 с.
6. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков; под ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов [и др.]; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд. – М.: Альянс, 2008. – 496 с.

УДК 628.004.8

М. М. Русакова, Г. Г. Русакова, Е. Д. Парахневич, Д. В. Парахневич, К. В. Чёрикова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРЧИЧНО-МАСЛОБОЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: pebg@vstu.ru

В статье рассматриваются испытания с активным поиском оптимальных параметров технических характеристик гидролизера с конструктивными особенностями перемешивающего устройства его активаторной части для обеспечения полноты гидролиза синигрина, а также определены основные параметры гидролизера.

Ключевые слова: отходы горчично-маслобойного производства, синигрин, гидролизер, эфирное масло, гидролиз, мирозиназа.

M. M. Rusakova, G. G. Rusakova, E. D. Parakhnevich, D. V. Parakhnevich, K. V. Chyrikova

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE WASTE PROCESSING PROCESS MUSTARD AND OIL PRODUCTION

Volgograd State Technical University

The article considers tests with active search for optimal parameters of the technical characteristics of the hydrolyser with the design features of the mixing device of its activator part to ensure complete hydrolysis of sinigrin, and also defines the main parameters of the hydrolyser.

Keywords: waste of mustard-oil production, sinigrin, hydrolyzer, essential oil, hydrolysis, myrosinase.

Токсичным продуктом, присущим семенам горчицы, является эфирное горчичное масло.

Эфирное горчичное масло (аллилизотиоцианат) образуется из синигрина в результате каталитического воздействия фермента мирозиназы при температуре 25...55 °С и достаточном количестве влаги.

Под действием мирозиназы синигрин расщепляется на глюкозу, кислый серноокислый калий и эфирное горчичное масло.

1. Зависимость процесса гидролиза синигрина от расхода воды

В связи с тем что гидролиз синигрина происходит в присутствии физической влаги, требуется определить ее расход.

Для определения расхода воды, пробы отходов смешивали с водой в разных соотношениях, и перемешивали при постоянной температуре 40 °С в течение часа. Степень гидролиза синигрина при различных соотношениях «отходы : вода» определяли по остаточному содержанию его в высушенных после эксперимента пробах (ГОСТ13979.7).

На рис. 1 приведена зависимость степени гидролиза синигрина от количества добавляемой воды к отходам горчично-маслобойного производства (жмых, высевок, порошок, шелуха).

В соответствии с рис. 1 для более полного гидролиза синигрина к отходам горчично-маслобойного производства необходимо добавлять воды не менее 30 %.

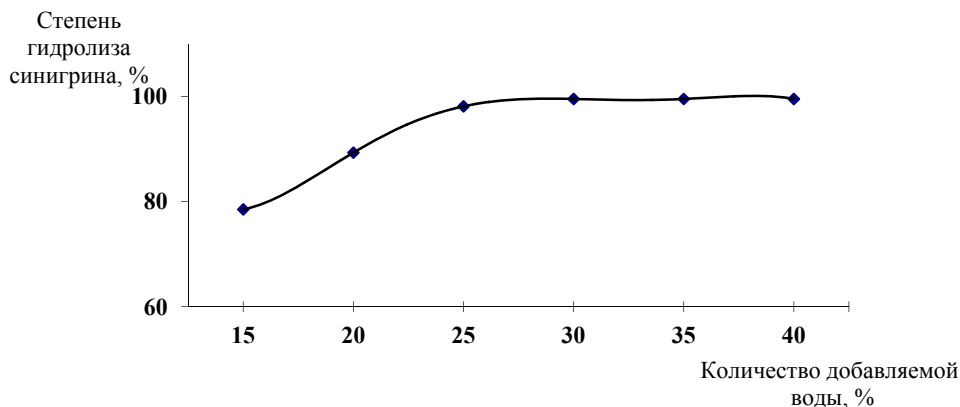


Рис. 1. Зависимость степени гидролиза синигрина от количества добавляемой воды

Таблица 1

Данные для построения зависимости степени гидролиза синигрина от количества добавляемой воды

Количество подаваемой воды, %	10	15	20	25	30	35	40
Степень гидролиза синигрина, %	72,1	78,5	89,3	98,1	99,5	99,5	99,5

2. Зависимость процесса гидролиза синигрина от температуры гидролизуемой массы

Определив необходимый и достаточный расход воды, пробу исследуемых образцов, смоченную водой при перемешивании выдерживали при разных температурах в течение часа. Степень гидролиза синигрина при различных тем-

пературах в пробах увлажненной массы отходов горчично-маслобойного производства определяли по остаточному содержанию его в высушенных после эксперимента пробах (ГОСТ13979.7).

На рис. 2 приведена зависимость степени гидролиза синигрина от температуры гидролизуемой массы.

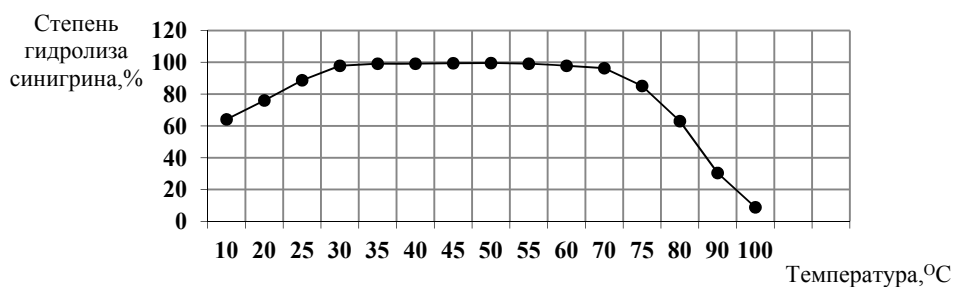


Рис. 2. Зависимость степени гидролиза синигрина от температуры гидролизуемой массы

В соответствии с рис. 2, гидролиз синигрина более полно проходит при температуре 30...55 °C. Дальнейшее повышение температуры приводит к частичной потере активности мирозиназы, что влечет за собой снижение ее каталитических свойств и замедление скорости протекания химических реакций.

Из графика видно, что при увеличении температуры выше 75 °C степень гидролиза синигрина снижается значительно.

3. Зависимость процесса гидролиза синигрина от времени контакта фаз

Одним из важных параметров является время гидролиза синигрина. Время гидролиза синигрина определяли при увлажнении отходов тридцатью процентами воды и температур массы 40 °C. На рис. 3 приведена зависимость степени гидролиза синигрина от времени контакта фаз. Опытным установлено, что синигрин практически полностью гидролизуеться в течение 15 минут.

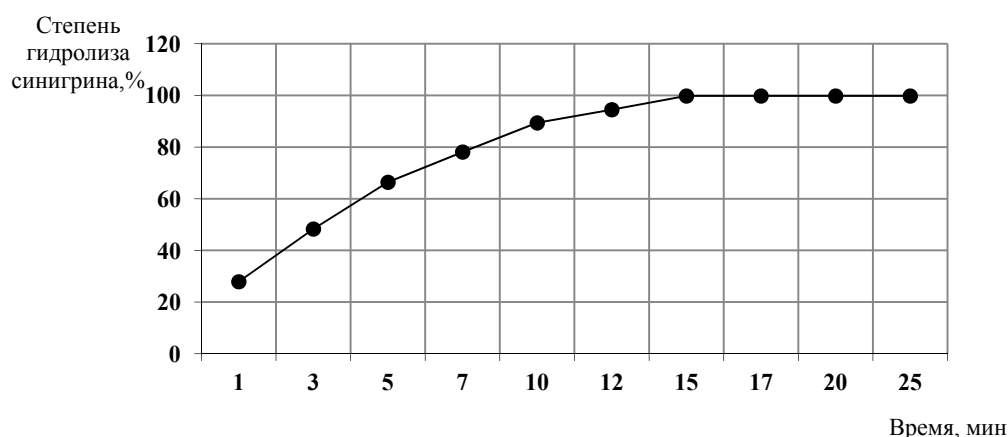


Рис. 3. Зависимость степени гидролиза синигрина от времени контакта фаз

Таблица 2

Данные для построения зависимости степени гидролиза синигрина от времени контакта фаз

Степень гидролиза, %	27,9	48,3	66,42	81,1	91,1	96,4	99,8	99,8	99,8
Время, мин	1	2	5	7	10	12	15	17	20

4. Зависимость процесса гидролиза синигрина от наличия фермента мирозиназы

Семена горчицы в промышленных условиях перерабатываются при различных температурах. В связи с этим жмыхи имеют «скрытые факторы», так как в жмыхах после прессования семян горчицы при высоких температурах фермент мирозиназа денатурируется, теряет свою активность и не производит гидролитического расщепления синигрина при увлажнении жмыха. Поэтому жмыхи, полученные при температурах 90, 120, 125 °С, могут даже показать отрицательную реакцию на содержание в них эфирного горчичного масла, хотя в действительности в жмыхе может содержаться боль-

шое количество нерасщепленного синигрина. Гидролиз последнего произойдет при вводе свежего фермента в пробу жмыха.

Для подтверждения того, что с повышением температуры происходит инактивация фермента мирозиназы, и подтверждения наличия «скрытых факторов» за счет температурного режима прессования, нами проведена серия опытов по прессованию семян горчицы при различных температурах, и определению эфирного горчичного масла и синигрина при добавлении фермента мирозиназы к испытуемым образцам жмыха. Для этих целей отбирали пробы жмыха в прессовом отделении от прессов, работающих на различных температурных режимах прессования.

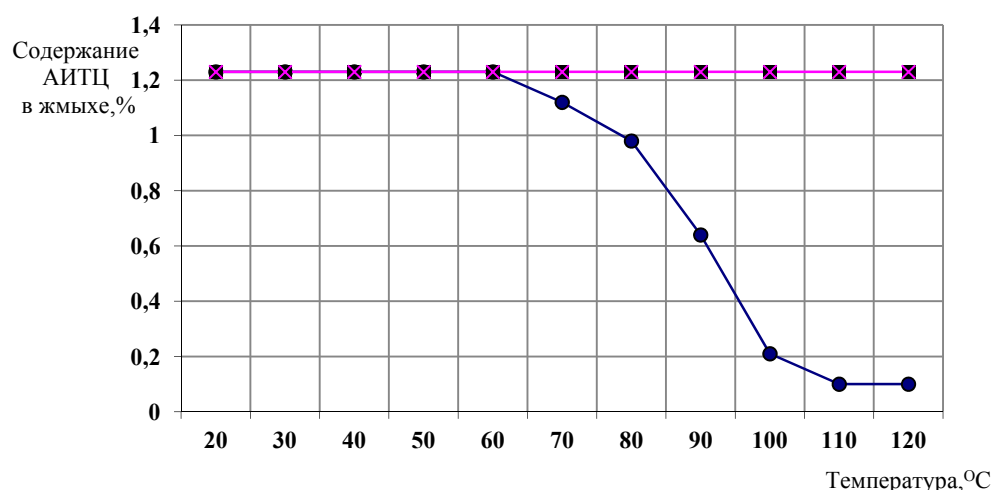


Рис. 4. Зависимость степени гидролиза синигрина от наличия фермента

Таблица 3

Данные для построения зависимости степени гидролиза синигрина от наличия фермента

T, °C	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
● – Без фермента	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,12	0,98	0,64	0,23	0,1	0,1
■ – С ферментом	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23

Для проведения исследований жмых измельчали, смачивали тридцатью процентами теплой воды, выдерживали при температуре 40 °C в течение 1 часа и анализировали на содержание эфирного горчичного масла с добавлением фермента (семян белой горчицы) и без них (ГОСТ 13979.7).

Результаты исследований приведены на рис. 4.

В соответствии с рис. 4 с увеличением температуры прессования содержание эфирного масла в жмыхе не изменяется, но определить его можно только при добавлении фермента. Без наличия фермента создается впечатление, что эфирного горчичного масла в жмыхе нет (опыты 9...11).

Полученные экспериментальные данные лабораторных исследований по двухфакторной модели были подтверждены при проведении опытов в производственных условиях. Это свидетельствует о том, что гидролиз синигрина до эфирного горчичного масла по классической реакции протекает в течение 15 минут при наличии физической влаги не менее 30 % и наличии фермента мирозиназы.

При несоблюдении данных параметров, разрушение структуры синигрина идет по другому механизму и, в зависимости от условий реакции, вместо аллилизотиацианата из синигрина могут быть получены нитрилы, тиоцианаты, цианаттиоалионы, цианэпитиоалканы и целый ряд других химических соединений [1].

5. Оптимизация процесса очистки отходов горчично-маслобойного производства планированием эксперимента

Планированием эксперимента методом кругового восхождения определен оптимальный режим гидролиза синигрина в отходах горчично-маслобойного производства [2–4].

Входными параметрами были:

X_1 – температура, °C;

X_2 – количество добавляемой воды к реакционной массе, %;

X_3 – время гидролиза синигрина, мин.

Параметр оптимизации:

Y – остаточное содержание эфирного горчичного масла в продуктах переработки семян горчицы.

Математическое описание процесса:

$$Y = 2,88 - 1,44X_1 - 2,16X_2 + 3,11X_{12}. \quad (1)$$

Результаты лабораторных исследований, исследование двухфакторных зависимостей и планирования трехфакторного эксперимента позволили определиться в рациональных параметрах технологического процесса переработки отходов горчично-маслобойного производства:

– температура 55 °C;

– количество добавляемой воды к реакционной массе, 30 %;

– время гидролиза синигрина 15 минут.

6. Определение вязкости суспензии

При очистке отходов горчично-маслобойного производства от эфирного горчичного масла необходимой частью технологического процесса является перемешивание, транспортировка (перекачка) суспензии по трубопроводам.

Для правильного выбора технических средств, насосного оборудования и диаметра трубопроводов необходимо знать вязкость суспензии.

Для определения вязкости по ГОСТ 27709, готовили пробы водной суспензии отходов с различным содержанием в них сухого вещества и определяли изменения условной вязкости суспензии в зависимости от содержания сухого вещества, температуры и времени контакта фаз.

На рис. 5 приведена условная вязкость водной суспензии горчичного порошка и жмыха, измеренная при 20 °C.

В соответствии с рис. 5, условная вязкость суспензии горчичного жмыха при содержании сухого вещества в суспензии от 5 до 10 % выше, чем суспензии горчичного порошка.

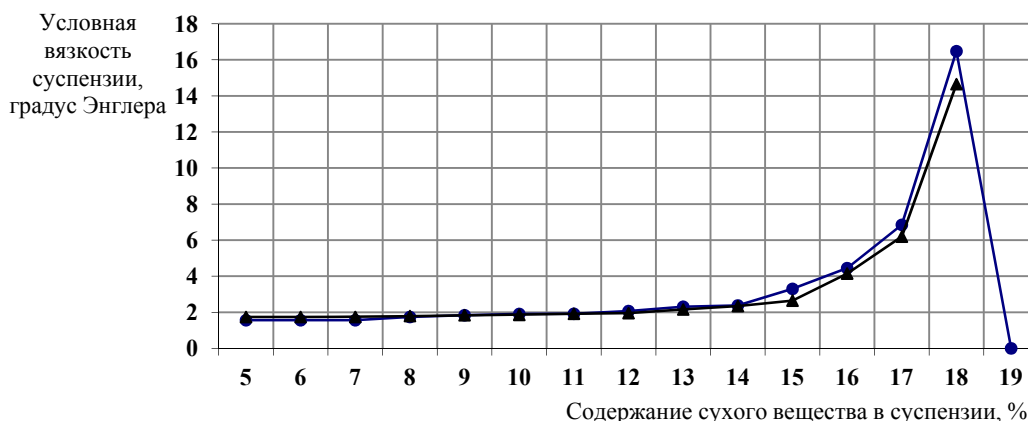


Рис. 5. Условная вязкость суспензии при 20 °С

Таблица 4

Данные для построения условной вязкости суспензии при 20 °С
от содержания сухого вещества в суспензии

%	5	6	7	8	9	10	11
Гп	1,56	1,56	1,56	1,74	1,84	1,91	1,92
Жм	1,74	1,74	1,74	1,79	1,84	1,85	1,92
%	12	13	14	15	16	17	18
Гп	2,07	2,31	2,38	3,30	4,45	6,85	16,48
Жм	1,95	2,16	2,34	2,65	4,15	6,20	14,65

На рис. 6 приведено изменение условной вязкости 15%-й суспензии при 20 °С от времени контакта фаз.

Для транспортировки рабочей суспензии по трубопроводам при 20 °С рекомендуется содержание в ней сухого вещества не более 15 %.

Условная вязкость 15%-й суспензии изменяется многократно при нарастании времени контакта фаз до 70 минут, за исключением интервала с 20 до 35 минут, где она остается постоянной.

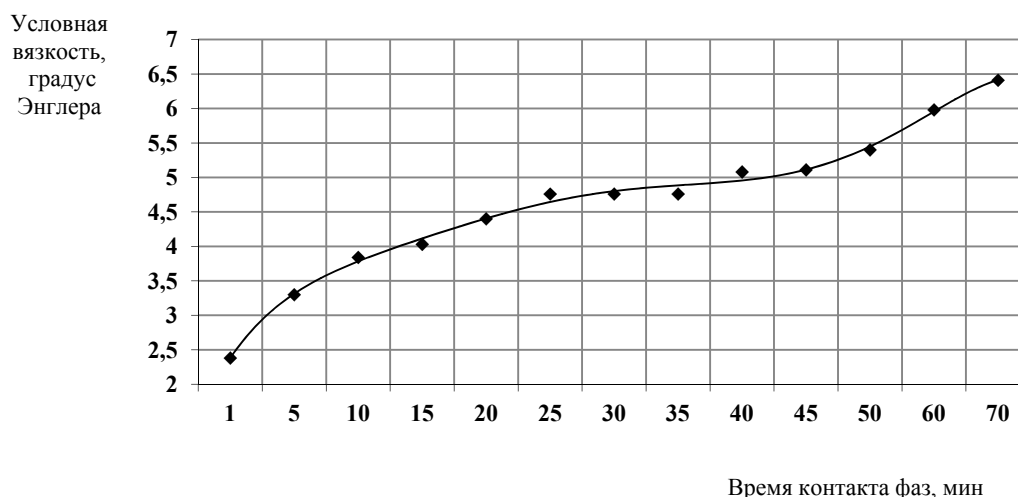


Рис. 6. Изменение условной вязкости 15%-й суспензии при 20 °С от времени контакта фаз

Технологический процесс гидролиза синигрина в отходах горчично-маслобойного производства состоит из следующих стадий:

1. Загрузка сырья в гидролизер;
2. Гидролиз синигрина до эфирного горчичного масла.

Технологический процесс данной стадии имеет следующие показатели режима:

- объем переработки отходов – 1 т/сутки;
- содержание сухого (вещества) в суспензии – 70 %;
- содержание эфирного горчичного масла в сырье – 1,0 %;
- выход эфирного горчичного масла – 0,8 % от массы сырья;
- остаток эфирного горчичного масла в готовом продукте – 0,1 %;
- температура гидролиза синигрина 35...50 °С;
- время гидролиза синигрина – 15 мин.

7. Конструкционные особенности предлагаемого аппарата для гидролиза синигрина

Для получения готовой продукции с качественными показателями, соответствующими требованиям нормативной документации, необходимо обеспечить очистку отходов горчично-маслобойного производства по содержанию токсичных соединений в кормовой добавке до требуемых норм.

Результаты поисковых опытов с применением различных технических средств на стадии гидролиза синигрина вызывают необходимость разработки нового технического средства.

Рабочая среда на стадии гидролиза синигрина за счет выделения паров эфирного горчичного масла химически агрессивная.

Пары эфирного горчичного масла имеют чрезвычайно острый запах, сильно раздражающий слизистые оболочки дыхательных путей, вызывают слезотечение. В связи с этим все оборудование, находящееся в контакте с эфирным горчичным маслом необходимо выполнять из нержавеющей стали с герметичным уплотнением.

Предварительные результаты исследований по переработке отходов горчично-маслобойного производства позволили установить следующее:

1. Отходы горчично-маслобойного производства при смачивании комкуются с образованием окатышей разного размера, что не позволяет выдерживать время гидролиза синигрина, за счет чего идет денатурация протеина и не обеспечивается стабильное качество очищенных продуктов.

2. Для предотвращения образования окатышей необходимо в верхней части аппарата обеспечить более интенсивное перемешивание и орошение отходов горчично-маслобойного производства через форсунки, дающие мелкодисперсное состояние подаваемой воды.

3. Для уменьшения потерь сырья необходим аппарат вертикального типа с использованием различных типов мешалок по высоте аппарата.

Для обеспечения протекания процесса гидролиза необходимым основным техническим средством является гидролизер.

В гидролизере реакционная масса содержит отходы горчично-маслобойного производства, конденсат водяного пара, эфирное горчичное масло.

Давление в гидролизере атмосферное, температура – не более 70 °С. Избыточное давление в гидролизере не допускается, для чего газовое пространство гидролизера трубопроводом соединяется с конденсатором, работающим под атмосферным давлением.

Для обеспечения рациональных параметров и режимов технологического процесса гидролиза синигрина, условий перемешивания и транспортировки обрабатываемого продукта авторами предложена конструкция гидролизера в виде вертикального цилиндрического аппарата с конусным днищем, снабженного многоярусными лопастными мешалками в цилиндрической части и ярусной в конической (рис. 7).

Расчет основных параметров гидролизера:

1. Объем зоны гидролиза:

$$V_z = (G_{жс} \cdot \tau_z) / \rho_{жс} = (44 \cdot 0,25) / 1124 = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (2)$$

где $G_{жс}$ – массовый расход отходов, кг/час; τ_z – продолжительность гидролиза синигрина в отходах, час; $\rho_{жс}$ – плотность влажных отходов, кг/м³.

2. Объем конической части зоны гидролиза:

$$V_k = (H_{кз} / 3) \cdot S_k = (0,22 / 3) \cdot 0,785 \cdot (2,5 \cdot 10^{-1})^2 = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3)$$

3. Объем цилиндрической части зоны гидролиза:

$$V_{ц} = V_z - V_k = 9,8 \cdot 10^{-3} - 3,4 \cdot 10^{-3} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (4)$$

4. Высота цилиндрической части зоны гидролиза:

$$H_{цз} = V_{ц} / S = 6,4 \cdot 10^{-3} / (2,5 \cdot 10^{-1})^2 \cdot 0,785 = 0,13 \text{ м}. \quad (5)$$

5. Общая высота зоны гидролиза:

$$H_z = H_{кз} + H_{цз} + 0,22 + 0,13 = 0,35 \text{ м}. \quad (6)$$

6. Объем цилиндрической части зоны смешения:

$$V_{цсм} = (G_{жс} \cdot \tau) / \rho_{жс} = (44 \cdot 0,75) / 1124 = 0,029 \text{ м}^3, \quad (7)$$

где τ – продолжительность перемешивания, час.

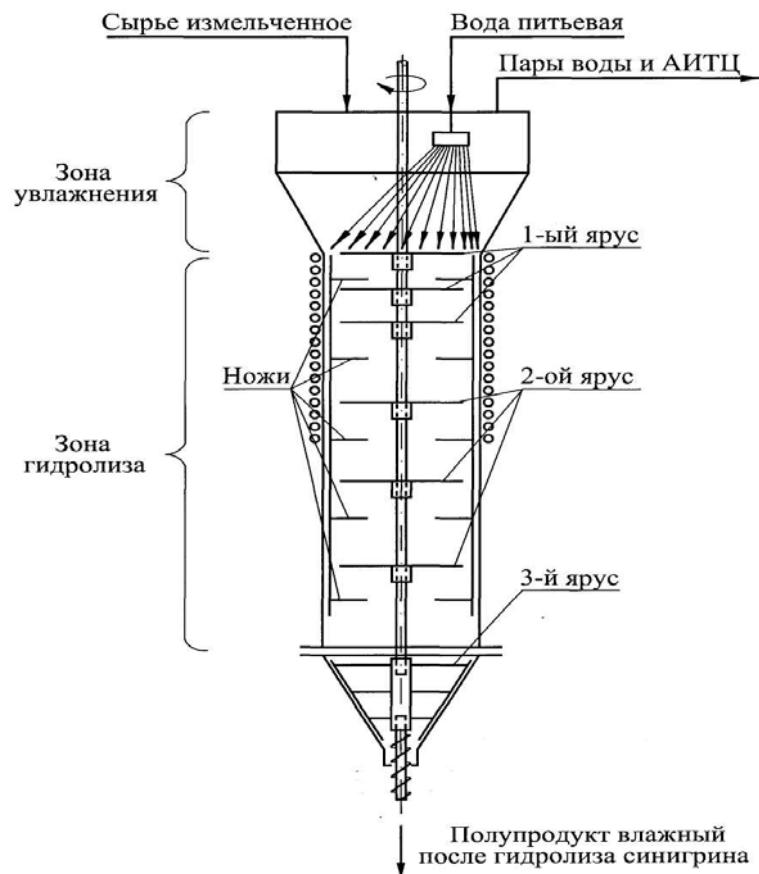


Рис. 7. Гидролизер

7. Высота цилиндрической части зоны смешения:

$$H_{\text{цсм}} = V/S = 0,029 / 0,785 \cdot (2,5 \cdot 10^{-1})^2 = 0,6 \text{ м.} \quad (8)$$

8. Высоту сепарационной зоны гидролизера примем $H_c = 0,5 \text{ м}$.

9. Общая высота гидролизера составляет:

$$H_{\Sigma} = H_{\text{кг}} + H_{\text{цг}} + H_{\text{цсм}} + H_c = 0,22 + 0,13 + 0,6 + 0,5 = 1,45 \text{ м.} \quad (9)$$

10. Расчет шага винта шнекового дозатора:

$$Q = 60 \cdot [\pi \cdot (D_2 - d_2 / 4)] \cdot S \cdot n \cdot \gamma \cdot \psi \cdot \alpha, \quad (10)$$

где Q — производительность дозатора, кг/час; D — наружный диаметр винта, м; d — диаметр вала шнека, м; S — шаг винта, м; n — частота вращения вала, об/мин; γ — объемная масса влажных отходов, кг/м³; ψ — коэффициент заполнения желоба; α — коэффициент, учитывающий угол наклона винтового конвейера.

$$Q = 60 \cdot [3,14(0,052 - 0,0382) / 4] \cdot S \cdot 30 \cdot 1124 \cdot 1 \cdot 1,$$

Откуда: $S = 0,03 \text{ м}$.

8. Описание технологического процесса гидролиза синигрина

Отходы горчично-маслобойного производства (жмых горчичный, некондиционный горчичный порошок и высевки) поступают на установку (рис. 8) в дробленном виде в мешках, наибольший размер частиц отходов не превышает 10 мм.

Дробленные продукты из мешков поступают в приемную воронку пневмоструйного аппарата 1. Пневмоструйный аппарат представляет собой инжектор, в сопло которого подается сжатый воздух. В пневмоструйном аппарате отходы горчично-маслобойного производства смешиваются с воздухом и во взвешенном состоянии по трубопроводу транспортируются в расходный бункер 2. Объем бункера 2 позволяет создать достаточный запас сырья для непрерывной работы установки в течение трех суток.

Из бункера 2 отходы горчично-маслобойного производства дозатором направляются в приемную воронку пароструйного увлажнителя 3. Пароструйный увлажнитель представляет собой инжектор, в сопло которого, под

давлением, подается пар. Из пароструйного увлажнителя отходы в смеси с паром, по трубопроводу транспортируются в зону смешения гидролизера 4. В гидролизере 4 проходит процесс смешивания отходов горчично-маслобойного производства с конденсатом, поступающим из конденсатора 5. Поскольку технологический процесс идет дискретно, отходы горчично-маслобойного производства нагреваются до температуры не более 70 °С подогревом гидролизера через стенку аппарата и частично увлажняются.

Увлажнение отходов горчично-маслобойного производства доводится до 25...30 %. Контроль влажности отходов горчично-маслобойного производства проводят периодически, путем отбора пробы из пробоотборника, установленного внизу цилиндрической части гидролизера 4. Содержание влаги в отходах горчично-маслобойного производства определяют аналитически в лаборатории.

Увлажнение и нагрев отходов горчично-маслобойного производства – необходимое и достаточное условие для гидролиза синигрина, содержащегося в продуктах переработки семян горчицы.

Гидролиз синигрина осуществляется по реакции, указанной выше.

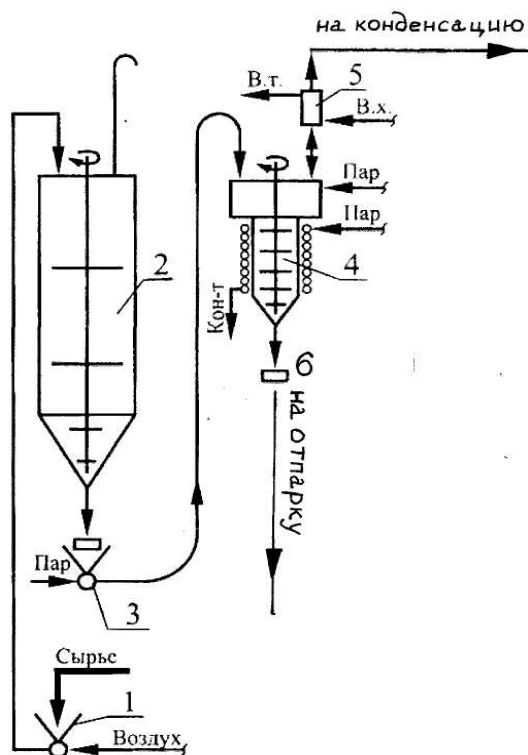


Рис. 8. Технологическая схема гидролиза синигрина в отходах горчично-маслобойного производства: 1 – пневмоструйный аппарат; 2 – бункер; 3 – пароструйный увлажнитель; 4 – гидролизер; 5 – конденсатор; 6 – дозатор

Фермент мирозиназа в достаточном количестве присутствует в отходах горчично-маслобойного производства. Без фермента гидролиз синигрина не происходит.

Рабочая среда в гидролизере химически агрессивная. В составе реакционной массы находятся: отходы горчично-маслобойного производства, конденсат водяного пара, эфирное горчичное масло.

Эфирное горчичное масло характеризуется высокой летучестью (0,0012 мг/л при 20 °С), пары его частично отделяются от отходов горчично-маслобойного производства и через штуцер в крышке гидролизера 4, по трубопроводу, поступают в конденсатор 5, где конденсируются.

Конденсатор 5 типа «труба в трубе», установлен на трубопроводе выхода пара из гидролизера 4 вертикально. В межтрубное пространство конденсатора 5 подается охлаждающая вода.

Конденсат из конденсатора 5 самотеком сливается в гидролизер 4 для увлажнения отходов горчично-маслобойного производства.

Длительность пребывания отходов горчично-маслобойного производства в гидролизере должна быть не менее 15 минут. После завершения гидролиза синигрина, отходы горчично-маслобойного производства, содержащие эфирное горчичное масло из конусного днища гидролизера шнековым дозатором 6 транспортируются на стадию отпарки эфирного горчичного масла.

В дальнейшем в технологической схеме предусмотрены стадии отпарки и конденсации эфирного горчичного масла, а также сушки готового кормового продукта, расфасовка, складирование, отгрузка потребителю эфирного горчичного масла и кормовой добавки.

На основе исследований процесса гидролиза синигрина до эфирного горчичного масла получено уравнение регрессии, в результате анализа которого определены рациональные параметры технологического процесса переработки отходов горчично-маслобойного производства:

- увлажнение отходов переработки семян горчицы 30 % воды;
- температура гидролиза синигрина не более 55 °С;
- время гидролиза синигрина 15 минут.

Проведены испытания с активным поиском оптимальных параметров технических характе-

ристик гидролизера с конструктивными особенностями перемешивающего устройства его активаторной части для обеспечения полноты гидролиза синигрина.

По результатам проведенных производственных испытаний для переработки одной тонны сырья в сутки, определены параметры гидролизера.

Для обеспечения рациональных параметров и режимов технологического процесса гидролиза синигрина, условий перемешивания и транспортировки обрабатываемого продукта, предложена конструкция гидролизера в виде вертикального цилиндрического аппарата с конусным днищем, снабженного многоярусными

лопастными мешалками в цилиндрической части и ярусной в конической.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чичибабин, А. Е. Основные начала органической химии: учеб. для вузов / А. Е. Чичибабин. – М.: Химия, 1954. – Т. 1. – 797 с.
2. Ахназарова, С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической промышленности / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.
3. Дегтярев, Ю. П. Регрессионный анализ на ПЭВМ / Ю. П. Дегтярев, А. И. Филатов // Труды Волгоградского СХИ. – 1992. – С. 128–131.
4. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях с.-х. процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – М.: Колос, 1972. – 200 с.

УДК 628.004.8

М. М. Русакова, Г. Г. Русакова, А. Б. Голованчиков, Е. Д. Парахневич, Д. В. Парахневич

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ГИДРОЛИЗА СИНИГРИНА В ОТХОДАХ ГОРЧИЧНО-МАСЛОБОЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: pebg@vstu.ru

В статье рассматривается логистическая цепь гидролиза синигрина в отходах горчично-маслобойного производства, результаты определения параметров гидролиза синигрина, технологическое обеспечение логистической цепи гидролиза синигрина.

Ключевые слова: отходы горчично-маслобойного производства, логистическая цепь гидролиза синигрина, результаты исследований, определение параметров.

M. M. Rusakova, G. G. Rusakova, A. B. Golovanchikov, E. D. Parakhnevich, D. V. Parakhnevich

LOGISTIC CHAIN HYDROLYSIS OF SINIGRIN IN WASTES OF MUSTARD AND OIL PRODUCTION

Volgograd State Technical University

The article discusses the logistic chain of hydrolysis of sinigrin in the waste of mustard and oil production, the results of determining the parameters of hydrolysis of sinigrin, technological support of the logistic chain of hydrolysis of sinigrin.

Keywords: mustard and oil waste, logistic chain for hydrolysis of sinigrin, research results, determination of parameters.

В Волгоградском регионе горчица является традиционной масличной культурой. Как масличную культуру, семена горчицы перерабатывают прессовым методом на пищевое растительное масло и пищевой горчичный порошок [1].

За счет присутствия эфирного масла, сарептская горчица и продукты ее переработки известны в пищевой промышленности в качестве готовой формы горчицы, вкусо-ароматической добавки, как эмульгатор в соусах и майонезах и как консервант при консервировании овощей [2].

Наличие эфирного горчичного масла в семенах сарептской горчицы и продуктах их переработки является также основой для их использования в лечебной практике [3].

Целью работы является построение логистической цепи гидролиза синигрина при переработке отходов горчично-маслобойного производства, предусматривающую выполнение комплекса научно-обоснованных исследований, направленных на получение максимального выхода качественной продукции при наименьших затратах.

Материалами и методами исследования при выполнении данной работы являлось изучение многочисленных источников информации по составу отходов горчично-маслобойного производства, методам их переработки, свойствам получаемой продукции

Параметры технологического процесса определения условий гидролиза синигрина до эфирного горчичного масла нами изучены ранее [1, 3–8].

В инженерных расчетах большое значение имеет термодинамический анализ химической реакции, который позволяет сделать выводы о самопроизвольном протекании реакции и те-

пловом эффекте при различных температурах.

1. Термодинамический анализ реакции гидролиза синигрина

Как показано в работах [9–12], синигрин гидролизуеться до эфирного горчичного масла в результате каталитического воздействия фермента мирозиназы при температуре 25...50 °С и достаточном количестве влаги.

Синигрин является калиевой солью мироновой кислоты. Однако вследствие отсутствия термодинамических данных по калиевой соли, авторами проведен анализ реакции гидролиза самой мироновой кислоты эмпирическим методом:



Выполнение термодинамического анализа данной реакции позволяет охарактеризовать процесс протекания реакции и соответствующего теплового эффекта при различных температурах.

Расчет термодинамических характеристик, таких как теплоемкость (ΔC°), энергия Гиббса (ΔG°), энтальпия (ΔH°), энтропия (ΔS°), и другие для данной реакции проведен на основе анализа групповых вкладов и элементов, входящих в структурную формулу синигрина и определение суммарного значения вкладов каждой из этих групп и элементов в соответствующее значение той или иной термоди-

намической характеристики [13, 15].

При вычислении изменения энтальпии, энтропии, стандартной энергии Гиббса и константы равновесия авторами определялись для каждого реагента и продукта реакции следующие показатели:

- стандартная теплота образования $\Delta H^\circ_{f,298}$;
- стандартная энтропия ΔS°_{298} ;
- температурная зависимость теплоемкости $\Delta C_{f(T)}$

В табл. 1 представлена сводка групповых вкладов входящих в структурную формулу синигрина в величину мольной теплоемкости (C_p^S) при нормальных условиях.

Таблица 1

Групповые вклады в мольную теплоемкость, при н.у., [кал/(моль·К)]

Группа	CPS	CPL	Группа	CPS	CPL
1. –CH<	3,72	5,0	8. =CH2	5,4	5,2
2. –CH2–	6,5	7,26	9. –SO4-2	12,0	–
3. –ОН	4,05	10,7	10. –N <	4,08	10,5
4. –О–	4,02	8,5	11. =C=	–	3,8
5. –S–	5,74	10,7	12. –CH3	7,38	8,8
6. =C<	2,5	3,8	13. >C=O	5,5	12,6
7. =CH–	4,45	5,1			

Теплоемкости воды и серной кислоты составляют, соответственно, 17,99 и 32,83 кал/(моль·К) [9].

Групповые вклады изобарно-изотермичес-

кого потенциала в энергию образования больших молекул и потенциалы образования некоторых малых молекул при нормальных условиях представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Изобарно-изотермический потенциал образования некоторых малых молекул
и групповые вклады в энергию образования больших молекул**

Группа	ΔG_f° , кал/моль	Группа	ΔG_f° , кал/моль
–O–	–28000+14T	=C <	10000+14T
–CH <	–750+30T	=N–	6000+37,2T
–CH2–	–5300+25T	–SO2–	–67300+36,2T
–S–	10000–7,1T	H2O	–58000+11,5T
–CH=	9000+9T	–OH	–42000+12T
CH2=	5900+8T	=C=	35000–4T
CH3–	–19000+22,3T	O=C <	–30000+9,5T

Таблица 3

Структурные поправки

Структурные поправки	ΔG_f° , кал/моль
1. Три прилежащие группы–CH	2100
2. Одинарное замещение в неароматическом кольце	–1000

Структурные поправки представлены в табл. 3.

Таким образом, зная групповые вклады изобарно-изотермических потенциалов в обра-

зование больших молекул, можно определить основные термодинамические свойства веществ – реагентов и продуктов реакции (табл. 4).

Таблица 4

**Основные термодинамические свойства веществ,
участвующих в реакции гидролиза синигрина**

Вещество	$\Delta H_{f,298}^\circ$, кДж/моль	ΔS_{298}° , Дж/моль·К	$\Delta G_{f,298}^\circ$, кДж/моль
Синигрин	–1280,67	–1614,41	–799,58
Вода	–243,02	–48,19	–228,66
Глюкоза	–1017,54	–938,56	–737,85
Аллилизотиоцианат	229,61	–276,12	311,90
Серная кислота	–633,95	–252,24	–558,78

2. Расчетные данные термодинамических функций

1. Рассчитываем мольную теплоемкость реакции по формуле:

$$\Delta C_{P,298}^\circ = \sum v_j \Delta C_{P,кон}^\circ - \sum v_i \Delta C_{P,исх}^\circ \quad (2)$$

Определяем теплоемкость исходных веществ:

$$\Delta C_{P,исх}^\circ = 5 \cdot 3,72 + 2 \cdot 6,5 + 5 \cdot 4,05 + 2 \cdot 4,02 + 5,74 + 2,5 + 4,45 + 5,4 + 12 + 4,08 + 17,99 = 112,05 \text{ кал/моль} \cdot \text{К}.$$

Определяем теплоемкость продуктов реакции:

$$\Delta C_{P,кон}^\circ = 5,2 + 5,1 + 2 \cdot 7,26 + 10,5 + 3,8 + 10,7 + 5 \cdot 5 + 8,5 + 5 \cdot 10,7 + 32,83 = 166,5 \text{ кал/моль} \cdot \text{К}.$$

Тогда теплоемкость реакции равна:

$$\Delta C_{P,298}^\circ = 166,5 - 112,05 = 54,45 \text{ кал/моль} \cdot \text{К}.$$

2. Энергию Гиббса реакции гидролиза синигрина рассчитываем по формуле:

$$\Delta G_r^\circ = \sum v_j \Delta G_{\text{кон}}^\circ - \sum v_i \Delta G_{\text{исх}}^\circ + \sum \text{nonp.}_{\text{кон}} - \sum \text{nonp.}_{\text{исх}} - RT \cdot \ln \delta, \quad (3)$$

где v_j, v_i – стехиометрические коэффициенты, соответственно, перед продуктами и исходными реагентами; $\Delta G_{\text{кон}}^\circ = \sum (\Delta G_f^\circ)_j$ – энергия Гиббса продуктов реакции, равная сумме вкладов изобарно-изотермических потенциалов групп или элементов; $\Delta G_{\text{исх}}^\circ = \sum (\Delta G_f^\circ)_i$ – энергия Гиб-

бса исходных веществ, равная сумме вкладов изобарно-изотермических потенциалов групп или элементов; $\sum \text{поправ.}_{\text{кон}}$ и $\sum \text{поправ.}_{\text{исх}}$ – сумма структурных поправок в продуктах реакции и в исходных веществах; δ – поправка на симметрию молекулы.

Расчет энергии Гиббса исходных веществ:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{исх}}^\circ = & 2 \cdot (-28000 + 14T) + 5 \cdot (-750 + 30T) + 2 \cdot (-5300 + 25T) + \\ & + (10000 - 7,1T) + 5 \cdot (-42000 + 12T) + (9000 + 9T) + (5900 + 8T) + (10000 + 14T) + \\ & + (-67300 + 36,2T) + (-58000 + 11,5T) + (6000 + 37,2T) = -364750 + 396,8T. \end{aligned}$$

Расчет энергии Гиббса продуктов реакции:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{кон}}^\circ = & (-28000 + 14T) + 5 \cdot (-750 + 30T) + 2 \cdot (-5300 + 25T) + \\ & + 7 \cdot (-42000 + 12T) + (-67300 + 36,2T) + (5900 + 8T) + (9000 + 9T) + \\ & + (35000 - 4T) + (6000 + 37,2T) + (10000 - 7,1T) = -337750 + 377,3T. \\ \Delta G_r^\circ = & (-337750 + 377,3T) - (-364750 + 396,8T) + 2100 - 1000 + 1,984T \cdot \ln 1 = 28100 - 19,5T. \end{aligned}$$

Данный расчет проведен для веществ, находящихся в идеальном газовом состоянии. Так как реагенты реакции находятся в жидком и

твердом состоянии, то необходимо вводить поправки, учитывающие физическое состояние веществ.

$$\Delta G_{r(\text{ЖК})}^\circ = \Delta G_{r(\text{ГТ})}^\circ - 7T = 28100 - 19,5T - 7T = 28100 - 26,5T.$$

Энергия Гиббса при стандартных условиях имеет следующее значение:

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298}^\circ &= 28100 - 26,5 \cdot 298 = 20203 \text{ кал/моль} = \\ &= 84,65 \text{ Дж/моль}. \end{aligned}$$

Зависимость энергии Гиббса от температуры в интервале 20...50 °C с шагом 10 °C представлена в табл. 5.

3. Определяем температурную зависимость энтальпии реакции (по уравнению Кирхгофа):

$$\Delta H_{r,T}^\circ = \int \Delta C_{p,T}^\circ dT. \quad (4)$$

После интегрирования последнего выражения получаем:

$$\Delta H_{r,T}^\circ = \Delta H_{r,0}^\circ + \Delta C_{p,T}^\circ, \quad (5)$$

где $\Delta H_{r,0}^\circ$ – постоянная интегрирования, которую рассчитаем исходя из стандартных условий:

$$\begin{aligned} \Delta H_{r,0}^\circ &= \Delta H_{r,298}^\circ - \Delta C_{p,298}^\circ \cdot 298 = \\ &= 28100 - 54,45 \cdot 298 = 11873,9 \text{ кал/моль}. \\ \Delta H_{r,T}^\circ &= 11873,9 + 54,45 \cdot T. \end{aligned}$$

Зависимость энтальпии реакции от температуры представлена в табл. 5.

4. Рассчитываем температурную зависимость энтропии процесса по уравнению Кирхгофа:

$$\Delta S_{r,T}^\circ = \int \frac{\Delta C_p^\circ}{T} dT, \quad (6)$$

где $\Delta S_{r,0}^\circ$ – постоянная интегрирования, которую получаем из расчета энтропии при стандартных условиях:

$$\begin{aligned} \Delta S_{r,0}^\circ &= \Delta S_{r,298}^\circ - \Delta C_{p,298}^\circ \cdot \ln 298 = \\ &= 26,5 - 54,45 \cdot 298 = -283,71 \text{ кал/моль} \cdot \text{К}. \\ \Delta S_{r,T}^\circ &= -283,71 + 54,45 \cdot \ln T. \end{aligned}$$

Зависимость энтропии процесса от температуры ($\Delta S_{r,T}^\circ$) представлена в табл. 5.

5. Константу равновесия определяем по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \ln K_p &= -\frac{\Delta G_r^\circ}{RT}, \quad (8) \\ K_{p,298} &= \exp \frac{-84650,57}{8,314 \cdot 298} = 1,45 \cdot 10^{-15}. \end{aligned}$$

Зависимость $K_{p,T}$ от температуры представлена в табл. 5.

Таблица 5

**Зависимость константы равновесия от температуры
и термодинамических характеристик реакции гидролиза синигрина**

T, K	$\Delta H^\circ_{г,Т}$, кДж/моль	$\Delta S^\circ_{г,Т}$, кДж/моль·К	$\Delta G^\circ_{г,Т}$, кДж/моль	$K_{р,Т}$
283	59,43	199,80	2,88	0,293
293	61,71	207,72	0,847	0,706
303	63,99	215,38	- 1,269	1,655
313	66,27	222,79	-3,460	3,779
323	68,55	229,96	-5,724	9,56
333	70,84	236,92	-8,058	20,05
343	73,12	243,67	-10,461	39,19

Графические зависимости энтальпии, энтропии, энергии Гиббса, константы равновесия от температуры представлены на рис. 1–4.

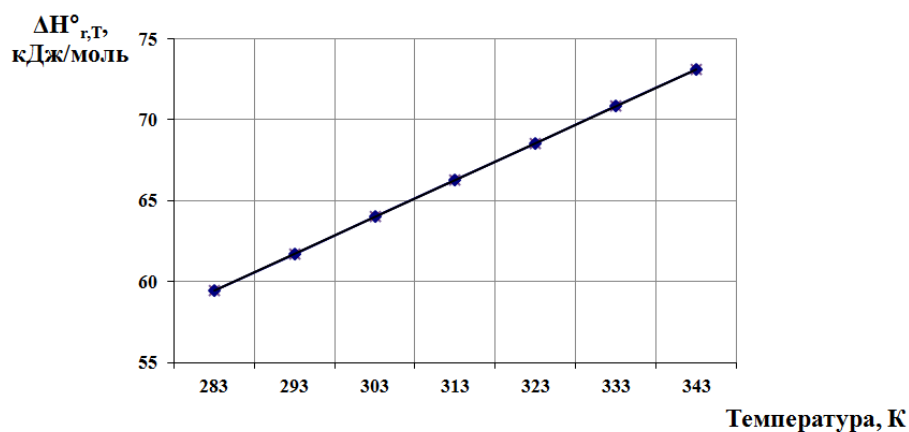


Рис. 1. Зависимость изменения энтальпии от температуры

Температура, К	283	293	303	313	323	333	343
Энтальпия, кДж/моль	59,43	61,71	63,99	66,27	68,55	70,84	73,12

В соответствии с рис. 1 цифровые значения энтальпии реакции гидролиза синигрина положительны и увеличиваются с повышением тем-

пературы, что указывает – процесс данной реакции эндотермический, протекающий с поглощением тепла.

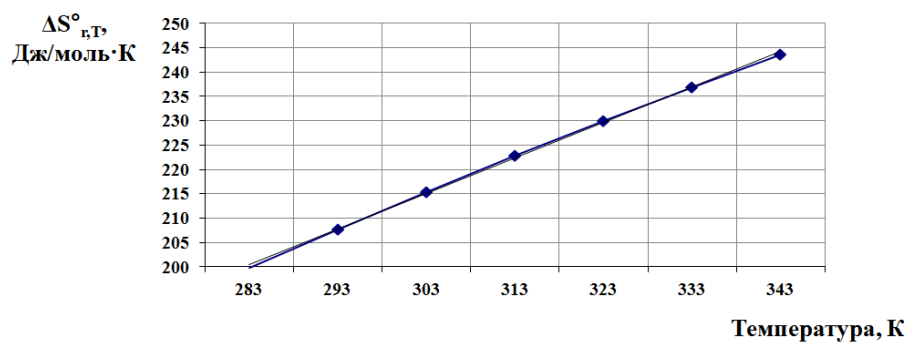


Рис. 2. Зависимость энтропии от температуры

Температура, К	283	293	303	313	323	333	343
$\Delta S^\circ_{г,Т}$, Дж/(моль·К)	199,80	207,72	215,38	222,79	229,96	236,92	243,67

В соответствии с рис. 2 цифровые значения энтропии реакции гидролиза синигрина положительны и с повышением температуры возрастают, подтверждая, что процесс данной ре-

акции приводит к превращению кристаллического вещества синигрина в газообразное – эфирное горчичное масло.

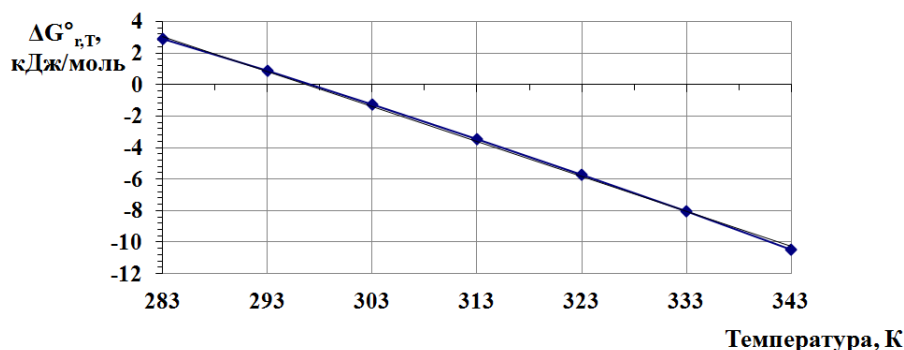


Рис. 3. Зависимость энергии Гиббса от температуры

Температура, К	283	293	303	313	323	333	343
$\Delta G^{\circ}_{г,т}$, кДж/моль	2,88	0,847	-1,20	-3,40	-5,72	-8,058	-10,46

В соответствии с рис. 3 цифровые значения энергии Гиббса реакции гидролиза синигрина уменьшаются с повышением температуры, что указывает только на возможность протекания данной реакции. В действительности эта реак-

ция может не наблюдаться либо проходить при минимальной скорости. Для увеличения скорости данной реакции необходимо наличие биокатализатора.

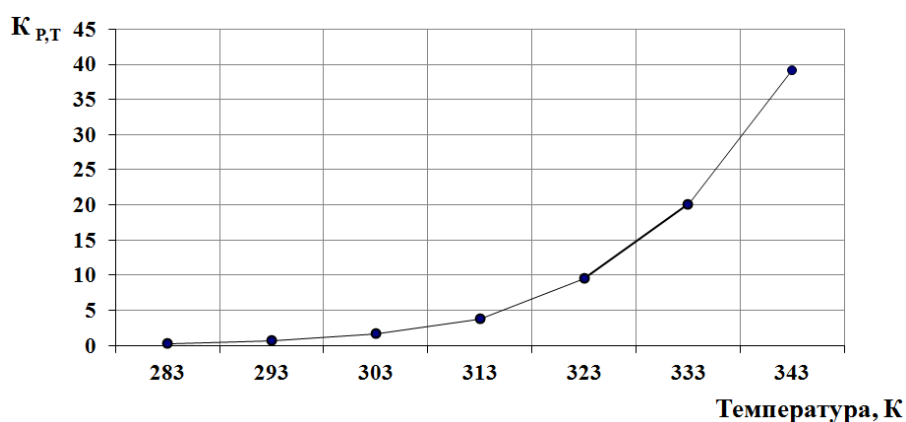


Рис. 4. Зависимость константы равновесия от температуры

Температура, К	283	293	303	313	323	333	343
$K_{p,т}$	0,293	0,706	1,655	3,779	9,56	20,05	39,19

В соответствии с рис. 4 цифровые значения константы равновесия реакции гидролиза синигрина увеличиваются с повышением температуры, что указывает на смещение равновесия протекания данной реакции в сторону образования продуктов реакции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Русакова, Г. Г.* Горчица : монография / Г. Г. Русакова. – Волгоград : ИПК «Нива», ВГСХА. 2012. – 600 с.

2. *Зеленуха, С. И.* Антимикробные свойства растений, употребляемых в пищу / С. И. Зеленуха. – Киев : Наукова Думка, 1973. – С. 90–92.

3. Утилизация токсичных отходов горчично-маслобойного производства / Г. Г. Русакова [и др.] // Изв. Тульского государственного университета. Серия : Экология и рациональное природопользование. – 2006. – Вып. 1. – С. 80–81.

4. Пат. 2340660 Российская Федерация, МПК С 11 В 13/00. Способ утилизации отходов горчично-маслобойного производства / Г. Г. Русакова, А. В. Демьянов ; ВолгоГТУ. – 2008.

5. Изучение возможности предотвращения вывоза в отвал семян горчицы и продуктов их переработки / Г. Г. Русакова [и др.] // Изв. Тульского государственного университета. Серия : Экология и рациональное природопользование. – 2006. – Вып. 1. – С. 104–112.

6. Технологические процессы утилизации токсичных отходов горчично-маслобойного производства: монография / Г. Г. Русакова [и др.] ; ВолгГТУ. – Волгоград : Политехник, 2008. – 178 с.

7. Комплексная переработка семян горчицы: монография / Г. Г. Русакова, В. А. Хомутов, Д. В. Парахневич, М. М. Русакова. – Волгоград : ИПК «Нива» ВГСХА, 2009. – 193 с.

8. Извлечение синигрина из продуктов переработки

семян горчицы / Г. Г. Русакова М. М. Русакова, Я. В. Дергилев, Т. В. Киселева, В. Б. Котенко, Е. Д. Парахневич, Д. В. Парахневич // Комбикорма. – 2012. – № 6. – С. 75–76.

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

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

11. Нечаев, А. П. Органическая химия : учебник для пищевых институтов / А. П. Нечаев, Т. В. Еременко. – М.: Высш. школа, 1985. – 463 с.

12. Чичибабин, А. Е. Основные начала органической химии : учеб. для вузов / А. Е. Чичибабин. – М.: Химия, 1954. – Т. 1. – 797 с.

УДК 621.311.22 : 621.316

И. И. Ахтулов, Д. О. Глухов

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

E-mail: GlukhovDmitry@yandex.ru

Разработан метод оптимального адаптивного искусственного освещения промышленных помещений предприятия на базе микроконтроллерной автоматизированной платформы селективного управления освещением. Данный метод обеспечивает эффективное энергосберегающее освещение промышленных помещений предприятия путем мультирежимного управления освещением.

Ключевые слова: искусственное освещение, энергосберегающая технология автоматизированная система управления.

I. I. Achtulov, D. O. Gluchov

AUTOMATIC LIGHTING CONTROL SYSTEM

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The method of optimal adaptive artificial lighting of industrial premises of the enterprise has been developed on the basis of a microcontroller automated platform for selective lighting control. This method provides effective energy-saving lighting for industrial premises of the enterprise through multi-mode lighting control.

Keywords: artificial lighting, energy-saving technology, automated control system.

Согласно требованиям Федерального закона от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», принятого Государственной Думой 11 ноября 2009 года, одобренного Советом Федерации 18 ноября 2009 года, к промышленным предприятиям предъявляются требования о повышении энергоэффективности [1].

Снижение энергозатрат при оптимизации искусственного освещения промышленных помещений предприятия позволяет снизить финансовые затраты организации. С освещенностью рабочих мест непосредственно связана безопасность выполняемых работ [2]. Освещенность рабочего места так может влиять на

производительность труда персонала. Таким образом, на сегодняшний день внедрение новых технологий адаптивного искусственного освещения является целесообразным и экономически оправданным.

Энергоэффективность и энергопотребление осветительных установок зависит от следующих параметров:

- световой отдаче источников света и их срока службы;
- светотехнических и энергетических параметров осветительных приборов;
- стабильности параметров светильников в течение эксплуатации и, в частности, характеристик источников света при их работе в светильнике;
- тарифов на электроэнергию;

– числа часов использования осветительных установок в год [4].

Одним из способов снижения энергозатрат является уменьшение числа часов использования осветительных установок в год. Системы автоматического управления освещением позволяют оптимизировать режимы работы искусственного освещения с учетом динамики изменения естественного освещения, трафика людского потока, нахождения рабочего персонала на рабочих местах.

Системы управления освещением должны определяться в соответствии с размерами помещений, типом эксплуатации помещений, типами зданий.

Системы автоматического управления (САУ) позволяют производить регулирование яркости источников света от 100 % до 0 % [5], что в свою очередь повышает их энергоэффективность при использовании освещения рабочего места в условиях слабого естественного освещения в дневное время, а также в ночное время при использовании в качестве дежурного освещения.

Для оценки оптимальных режимов работы системы автоматического управления освещением была разработана экспериментальная модель. В ее состав были включены такие составляющие, как датчик освещенности, блок питания, контроллер, модуль расширения, модуль ввода/вывода, автоматический выключатель,

реле, пускатель, светоосветительные приборы. Для контроля параметров данной системы использовались двенадцать датчиков освещенности, которые контролируют освещенность в помещении. Информация с датчиков поступает на микроконтроллер. Для расширения количества опрашиваемых входов на контроллере, использовались модули расширения.

Алгоритм работы системы автоматического управления освещением начинается с получения текущего времени, после того как установлено текущее время, определяется: попало ли время в рабочий режим. Если попало, то устанавливается рабочий режим всем зонам, если не попало, то проверяется попало ли в режим дежурного освещения. Если время попало в дежурный режим, то устанавливается рабочий режим только зонам прохода, где и работает дежурное освещение. Далее получаем с датчиков уровень освещенности на первой зоне помещения. Потом определяем, какой режим был установлен. Далее задаем настройки ПИД-регулятора в соответствии с режимом. Если освещенность меньше нормы, то включается еще определенное количество светильников, а если больше нормы, то поступает команда на отключение заданной группы светильников. Затем проверяются следующие номера зоны в помещении.

Для анализа работы системы, в упрощенном виде ее можно представить в виде блок-схемы (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема АСУ освещением предприятия

Из анализа типовых схем [6] система управления должна отвечать следующим критериям:

- max ошибка $(100 / 64) \cdot 2 = 0,78$;
- время регулирования ≤ 18.3 с.

Тогда передаточная функция регулятора примет вид (1):

$$W(s) = \frac{K_1}{T_1 s + 1} \quad (1)$$

После преобразований получим математическую зависимость (рис. 2)

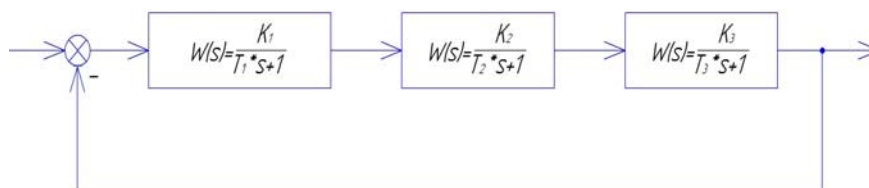


Рис. 2. Математическая модель системы автоматического управления искусственным освещением

Для оценки показателей работы модели автоматического управления искусственным освещением было выполнено компьютерное моделирование в программе VisSim. На рис. 3 изображена структурная схема, построенная в

VisSim. При компьютерном моделировании были получены логарифмические амплитудочастотные и фазо-частотные характеристики (далее ЛАЧХ, ЛФЧХ) работы системы автоматического управления (рис. 4).

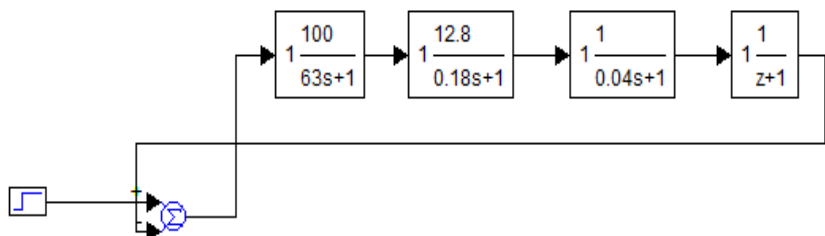


Рис. 3. Структурная схема в программе VisSim

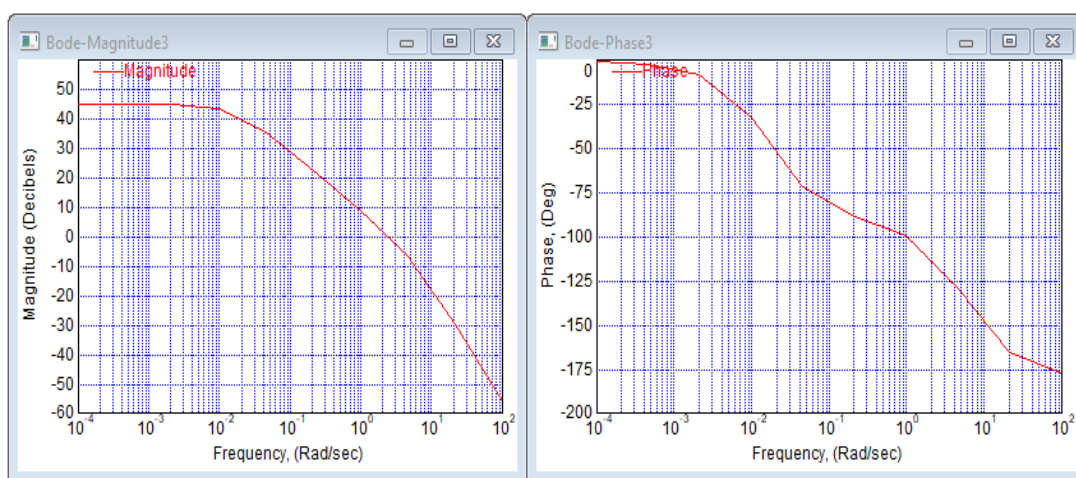


Рис. 4. ЛАЧХ ЛФЧХ с ПИД регулятором

В качестве корректирующего устройства был использован ПИД регулятор. ПИД регулятор предназначен для уменьшения времени процесса регулирования освещенностью.

На рис. 5 изображена временная реакция системы на возмущающее воздействие (в данном случае изменения естественной освещенности помещения).

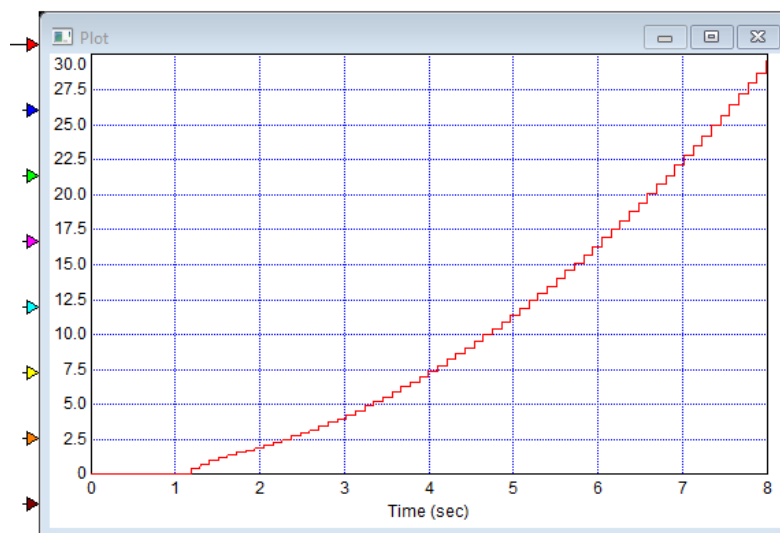


Рис. 5. График с ПИД регулятором

На основании полученных результатов математического и компьютерного моделирования автоматической системы управления освещением предприятия была создана система, которая поддерживает заданную освещенность в помещении в зависимости от естественного освещения. Из анализа полученных данных ЛАЧХ и ЛФЧХ с ПИД можно сделать вывод, что предложенный метод позволяет сократить время затрачиваемое на регулирование освещенности.

Преимуществом разработанного метода является быстрое адаптивное управление искусственным освещением промышленных помещений предприятия, что позволит повысить энергоэффективность систем искусственного освещения и снизить энергозатраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической

эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – Режим доступа : <https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (дата обращения 24.10.2019).

2. Михайлова, Л. А. Безопасность жизнедеятельности : Учебник / под ред. Л. А. Михайлова. – М.: Академия, 2008. – 272 с.

3. Леонтьева, И. А. Безопасность жизнедеятельности. Краткий конспект лекций : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / И. А. Леонтьева. – Елабуга : Изд-во Елабуж. ин-та КФУ. – 180 с.

4. Корюков, Н. В. Вопросы энергосбережения в освещении / Н. В. Корюков // УЭКС. 2013. № 4 (52). – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-energobezrezheniya-v-osveschenii> (дата обращения: 06.11.2019).

5. Справочная книга по светотехнике / под ред. проф. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – С. 81.

6. Шиколенко, И. А. Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места / И. А. Шиколенко, В. А. Завьялов // Молодой ученый. – 2013. – № 3. – С. 122–125. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/50/6443/> (дата обращения 24.10.2019).

УДК 628.94

О. С. Атрашенко

СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ

E-mail: olgapasmenko@yandex.ru

В статье рассмотрены основные энергосберегающие технологии в электроосвещении на промышленных предприятиях. Основными направлениями являются правильный выбор источника света с учетом его световой отдачи и системы управления освещением. Современные «интеллектуальные» системы позволяют управлять включением групп светильников в зависимости от присутствия человека в помещении, уровня естественной освещенности и назначения освещения. Системы позволяют экономить затраты на освещение промышленных предприятий до 20 %.

Ключевые слова: освещение промышленных предприятий, системы управления освещением, локальные и централизованные системы управления, регулирование светового потока.

O. S. Atrashenko

INDUSTRIAL LIGHTING CONTROL SYSTEMS

Kamyshin Institute of Technology (branch)
Volgograd State Technical University

The article considers the main energy-saving technologies in electric lighting at industrial enterprises. The main directions are the correct choice of light source taking into account its light output and lighting control system. Modern "intelligent" systems allow to control the inclusion of groups of lamps depending on the presence of a person in the room, the level of natural illumination and the purpose of lighting. Systems save up to 20 % on lighting costs for industrial enterprises.

Keywords: illumination of the industrial enterprises, control systems of lighting, the local and centralized control systems, regulation of a light stream.

Введение

В большинстве случаев значительная доля потребляемой электроэнергии на многих пред-

приятиях приходится на освещение. Наиболее эффективным методом экономии электроэнергии является модернизация существующих освеще-

ветительных установок с заменой традиционных ламп (ДНАТ, ДРЛ) на промышленные светодиодные светильники и внедрением современной автоматизированной системы управления освещением (СУО) [1].

Типы систем управления освещением

Системы автоматического управления освещением, условно можно разделить на два основных класса – так называемые локальные и централизованные.

Для локальных систем характерно управление только одной группой светильников. Конструктивно они выполняются в малогабаритных корпусах, закрепляемых непосредственно на светильнике или на колбе одной из ламп. Все датчики, как правило, составляют один электронный прибор, в свою очередь, встроенный в корпус самой системы [2].

Централизованные системы управления освещением, наиболее полно отвечающие названию «интеллектуальных», строятся на основе микропроцессоров, обеспечивающих возможность практически одновременного многовариантного управления значительным (до нескольких сотен) числом светильников. Такие системы могут применяться либо только для управ-

ления освещением, либо также и для взаимодействия с другими системами зданий (например, с телефонной сетью, системами безопасности, вентиляции, отопления и солнцезащитных ограждений) [3].

Системы автоматического управления освещением

Датчики движения K2110-2150 для управления освещением

В производственных зданиях, которые, как правило, имеют большие окна или световые фанари на крыше, самым оптимальным решением будет установка светодиодных светильников, имеющих функцию регулирования светового потока по протоколу 1-10В, а значит, и потребляемой ими мощности (рис. 1). Автоматизировать такую систему освещения можно с помощью датчиков освещенности K2110 или K2111, поддерживающих постоянный уровень освещенности в рабочей зоне. Для нерегулируемых светильников (светодиодные, натриевые, металлогалогеновые и пр.) автоматизировать систему освещения можно при помощи специального контроллера K2000П с зональным отключением групп светильников в зависимости от интенсивности солнечного света [4].

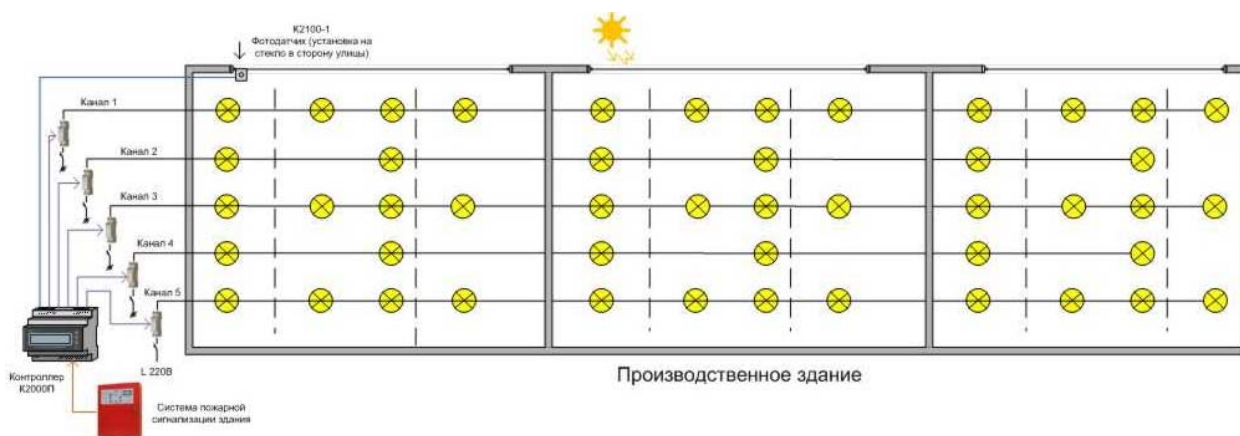


Рис. 1. Структурная схема управления освещением производственного корпуса с автоматическим зональным отключением в зависимости от уровня естественной освещенности

При этом каналы № 1–3 могут также отключаться в заданные временные интервалы, например, во время пересменок, перерывов на обед и т. д. (до 9 событий в сутки). Каналы № 4 и 5 работают только по освещенности. Возможна работа системы в автоматическом и ручном режимах (автоматика/все включить/все вы-

ключить). Время задержки регулируется в пределах 1–99 минут.

В тех местах цеха, где персонал не находится постоянно, например, места складирования готовой продукции, ремонтная зона и т. д, можно установить микроволновые датчики движения K2150 со встроенной автоматикой (рис. 2).

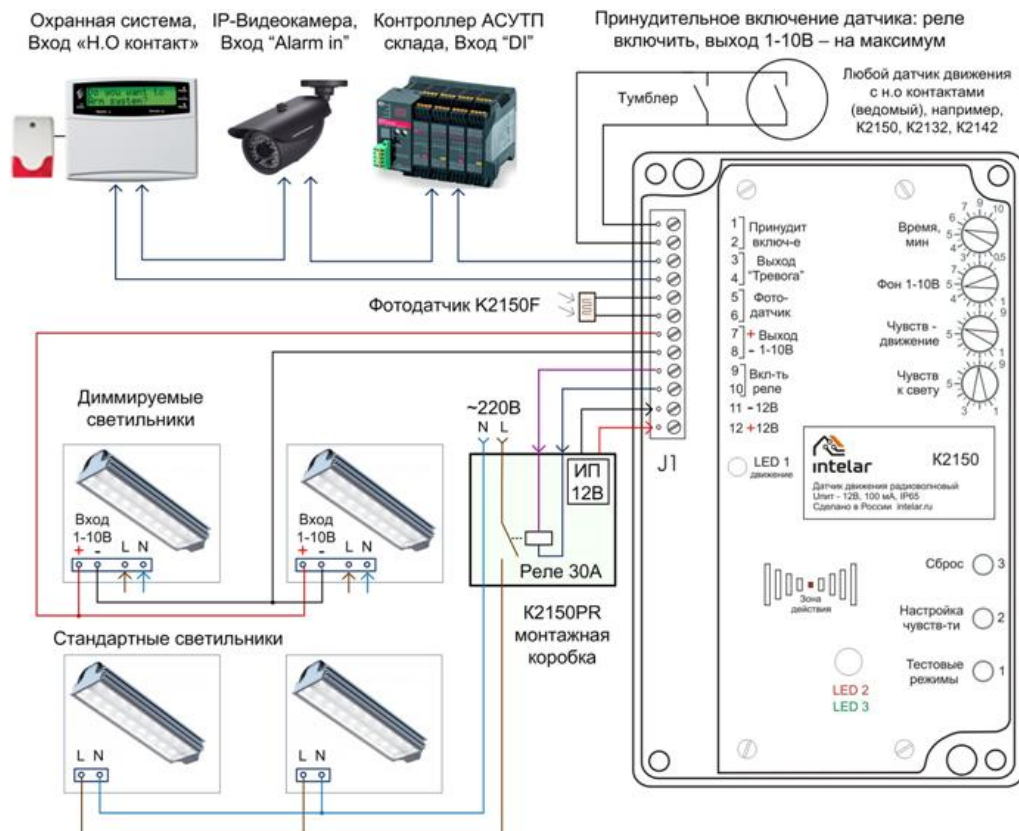


Рис. 2. K2150 – датчик «Три в одном»:

- 1 – выход реле 30 А – для управления обычными светильниками с помощью датчика движения;
- 2 – выход 1-10 В для плавного регулирования светового потока в пределах 2–100 %;
- 3 – специальный выход для подключения датчика к системе охранной сигнализации или IP-камерам

При отсутствии в этих зонах людей или транспорта освещение может работать или в экономичном режиме – 10–15 % от номинального значения, если используются диммируемые светильники или будет отключено (рис. 3). При фикс-

сации движения мощность освещения плавно увеличится до номинального значения 100 % (для диммируемых светильников) или включатся светильники рабочего освещения (для обычных светильников и релейной схемы управления).

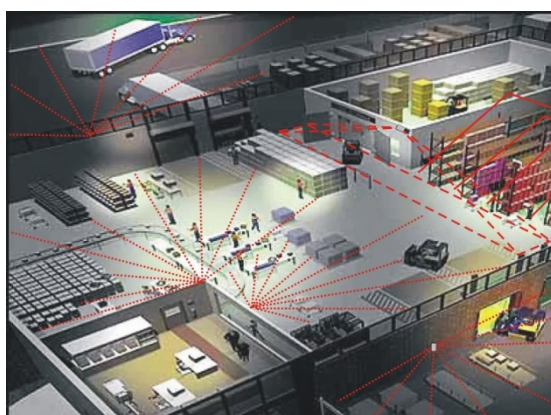


Рис. 3. Производственное здание – установка датчика K2150 на стене и на потолке

Автоматизированная система управления освещением Ecomex Smart

В случае, если помещение имеет одно боковое окно с солнечной стороны система Ecomex

Smart автоматически будет регулировать световой поток светодиодных светильников для достижения необходимых (заданных) показателей освещенности (рис. 4).

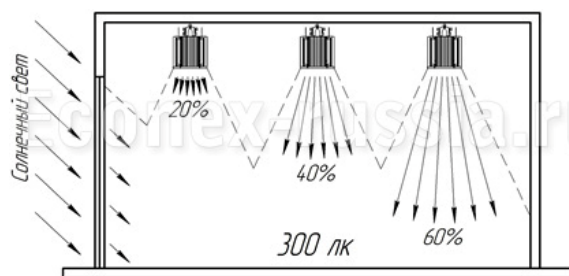


Рис. 4. Пример управления освещением на производстве с окнами при помощи светодиодных светильников Econex и автоматической системы управления освещением Econex Smart

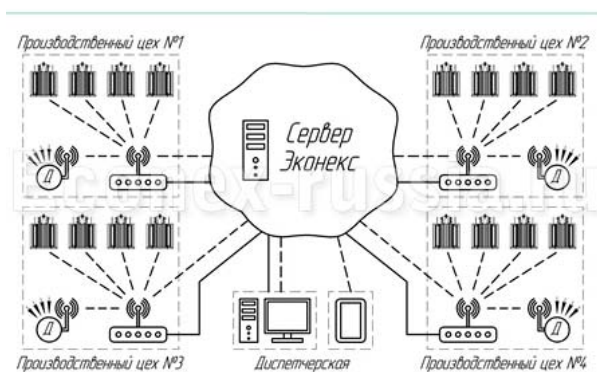


Рис. 5. Максимальная АСУО Econex Smart

В максимальном варианте автоматическая система управления освещением имеет многоуровневую структуру, пример которой представлен на рис. 5.

Возможности системы:

- управление освещением в ручном и автоматическом режиме (по графику, по фактической

освещенности, по присутствию людей и т. д.);

- учет электрической энергии и параметров электрической сети;

- сохранение и обработка статистических данных (режимов работы системы, аварийных режимов и т. д.);

- синхронизация и управление осветительной установкой и технологических процессов.

Светильники могут объединяться в зоны. Каждой зоной или отдельным светильником можно управлять вручную при помощи кнопок на панели инструментов, а можно назначить автоматический режим работы (по графику с учетом или без учета внешних факторов, таких, как освещенность, присутствие персонала, режимов работы оборудования) [5].

На рис. 6 приведен условный пример плана осветительной установки промышленного объекта.

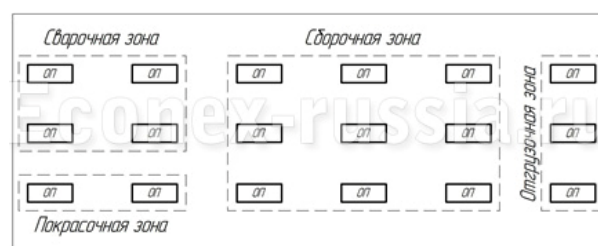


Рис. 6. Пример АСУО Econex Smart

На рис. 7 показан пример суточных графиков работы осветительной установки (зоны, нескольких или всех зон, отдельный светильник).

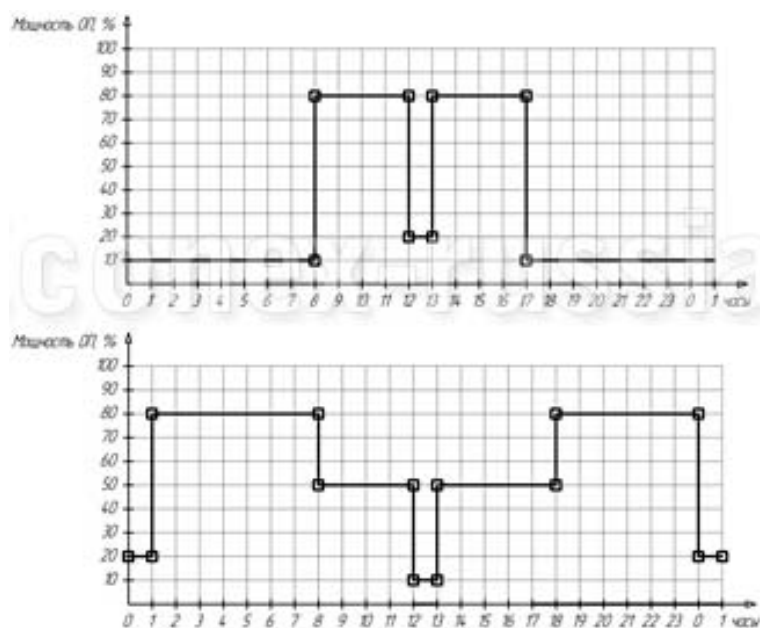


Рис. 7. Пример суточных графиков работы светильников

На верхнем графике показан режим работы осветительной установки по стандартному 8-часовому графику. В нерабочее время с 17.00 до 8.00 часов осветительная установка работает в дежурном режиме на 10 % своей мощности. В 8.00 часов, в начале работы объекта, и после обеда, с 13.00 до 17.00 часов, светильники переключаются на 80 % мощность. В обед, с 12.00 до 13.00 часов, светильники переходят в дежурный режим 20 %. На нижнем графике приведен более сложный график работы осветительной установки по 2-сменному рабочему графику и с учетом светового дня с 8.00 до 18.00 часов.

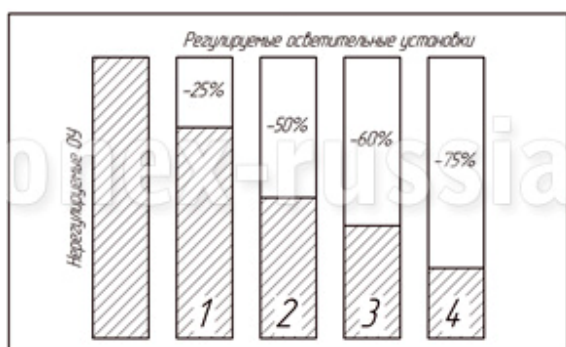


Рис. 8. Экономия ЭЭ при различном управлении:
1 – ручное управление; 2 – ручное управление + датчики присутствия; 3 – автоматическое регулирование светового потока ламп в зависимости от интенсивности естественного света; 4 – комбинация вариантов 2+3+контроллер с часами реального времени

Экономия электроэнергии в осветительных установках при различных вариантах управления представлена на рис. 8.

Заключение

Расход электроэнергии на цели освещения может быть заметно снижен достижением оптимальной работы осветительной установки в каждый момент времени.

Добиться наиболее полного и точного учета наличия дневного света, равно как и учета присутствия людей в помещении, можно, применяя средства автоматического управления освещением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учеб. для вузов / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – М.: КолосС, 2008. – 344 с.
2. Гуторов, М. М. Основы светотехники и источники света : учеб. пособие / М. М. Гуторов. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 384 с.
3. Багаев, А. А. Электротехнология : учеб. пособие / А. А. Багаев, А. И. Багаев. – Барнаул : АГАУ, 2006. – 320 с.
4. Энергосбережение на производстве [Электронный ресурс] // URL: <http://intelar.ru/ru/primeri/proizvodstvennyj-korpus/>. (Дата обращения: 03.02.2020).
5. Econex Smart. Беспроводная автоматическая система управления [Электронный ресурс] // URL: <https://econex.ru/control-system/econex-smart/>. (Дата обращения: 03.02.2020).

УДК 620.97

О. С. Атрашенко

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ 20 кВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ

E-mail: olgapasmenko@yande.ru

Современные мировые тенденции в развитии электрических сетей свидетельствуют о стремлении многих развитых стран к внедрению более высоких классов напряжения. В статье рассматриваются первые опыты внедрения напряжения 20 кВ для городских распределительных сетей. Перевод электрических сетей среднего напряжения с 10 на 20 кВ позволит перейти на более высокий уровень электроснабжения городских потребителей, увеличить пропускную способность распределительных сетей как минимум в 2–2,5 раза в пределах той же площади территории, сократить количество трансформаторных мощностей, повысить качество электрической энергии и надежность функционирования систем электроснабжения.

Ключевые слова: распределительная сеть напряжением 20 кВ, плотность нагрузки, пропускная способность линии, снижение потерь электроэнергии.

O. S. Atrashenko

ANALYSIS OF EXPERIENCE OF APPLICATION OF VOLTAGE CLASS 20 kV IN DISTRIBUTION NETWORKS

Kamyshin Institute of Technology (branch)

Volgograd State Technical University

Current global trends in the development of electrical networks show the desire of many developed countries to introduce higher voltage classes. The article considers the first experiments of introduction of 20 kV voltage for urban distribution networks. The transfer of medium-voltage electric networks from 10 to 20 kV will allow to switch

to a higher level of power supply to urban consumers, increase the capacity of distribution networks by at least 2–2,5 times within the same area of the territory, reduce the number of transformer capacities, increase the quality of electric power and reliability of operation of power supply systems.

Keywords: 20 kV distribution network, load density, line capacity, reduced power loss.

Введение

Очевидным проблемным вопросом, появившимся в последнее время, быстрое увеличение потребления электроэнергии и неуклонный рост плотности нагрузок, которые далеко перешагнули существовавшие нормативы и вплотную приблизились к параметрам крупнейших мегаполисов мира. Результаты исследований за рубежом показали, что учет всех факторов и связанных с ними рисков развития электроэнергетики в будущем требует пересмотра традиционных подходов, принципов и механизмов ее функционирования, выработки новых, способных обеспечить устойчивое развитие, прорывное повышение потребительских свойств и эффективности использования энергии.

Актуальность проблемы обоснуется с одной стороны резким ростом плотности электрических нагрузок, как в городских, так и в сельских электрических сетях, существенным ростом стоимости земли, отчуждаемой под строительство подстанций, распределительных устройств и линий 6–35 кВ, а также необходимостью снижения потерь электроэнергии при ее транспортировке, в соответствии с законом 261-ФЗ от 23.11.2009 г.

При этом вопросы повышения надежности электроснабжения потребителей при возрастающих мощностях выходят фактически на первое место, потому как большинство потребителей в городах не допускают длительного перерыва в электроснабжении. Сегодня существующие в большинстве городов кабельные и воздушные линии электропередач напряжением 6(10) кВ полностью исчерпали свой ресурс, в том числе и по пропускной способности, и желание передать по ним большую или хотя бы близкую к номинальной мощность обернется увеличением числа повреждений и аварий и, как следствие, частыми перебоями в электроснабжении потребителей.

Сооружение дополнительных центров питания и распределительных подстанций с необходимым линиями электропередач могло бы решить проблему, однако в большинстве крупных городов, в которых и наблюдается активный рост электропотребления, плотная застройка и имеющиеся коммуникации просто не дают воз-

можности установки трансформаторных подстанций и распределительных пунктов, прокладки дополнительных кабельных и воздушных линий электропередач. Возникает замкнутый круг: электроэнергия необходима, она вырабатывается, но доставить ее до потребителя по существующим линиям невозможно, а сооружение новых не представляется возможным.

Одним из вариантов решения этой проблемы является повышение уровня питающего напряжения потребителей с 6(10) кВ до 20 кВ. При этом потребуются переоборудование трансформаторных подстанций и линий электропередач под новый класс напряжения или возведение на прежних местах полностью новых центров питания и распределительных пунктов. Конечно, все это будет связано с капитальными затратами на сооружение новых или реконструкцию, с повышением уровня напряжения, старых подстанций и ЛЭП, но в конечном итоге эти затраты предполагается быстро окупятся и экономический эффект от такого мероприятия будет значительный.

Опыт применения напряжения 20 кВ в России и за рубежом

Напряжение 20 кВ широко используется в странах Евросоюза и США (см. таблицу, приведенную ниже). В нашей стране 20 кВ было введено в стандарт еще в начале 1960-х годов, однако исторически широкого применения не получило. Отечественной энергетике были ближе напряжения 6, 10 и 35 кВ.

Отмечается, что в настоящее время в мире уже десятки стран и регионов используют напряжение 20 кВ как среднее напряжение распределительных сетей (см. таблицу). В 1948 г. впервые были использованы участки сетей этого напряжения в Соединенных Штатах Америки, Франции и Германии. Начиная с 60-х годов XX столетия переход на напряжение 20 кВ начали и многие европейские страны – Италия, Австрия, Болгария, Польша, Венгрия и т. д. (80 % площади всей Европы). В настоящее время сети данного напряжения активно используются и в странах Азии, включая Китай, Корею, Тайвань, Сингапур и т.д. Повсеместно напряжение 20 кВ используется в Финляндии и Эстонии.

Величины номинальных напряжений в различных странах мира

Страна	Величины номинальных напряжений сетей трехфазного переменного тока, кВ														
Россия	–	3	6	10	–	20	35	–	–	–	110	154	220	330	500
Франция	–	3,2	5,5	10	15	20	30	45	60	90	110	150	150	380	–
Германия	1;2	3	6	10	15	20 (27)	30	45	60	90	110	150	150	380	–
США	2,4	–	4,8 (7,8)	12	14,4	23	31,5	46	69	–	115 (138)	161	161	–	–
Бельгия	–	3	6	10	15	20	30	45	60	80	100	150	150	38	–
Австрия	–	3	5(6)	10	15	20 (25)	30 (35)	45	60	80	100	150	150	–	–
Чехия	–	3	6	10	15	20 (22)	30 (35)	45	60	80	100	150	150	–	–
Венгрия	–	2,7	5,4	9	13,5	18	31,5	–	54	90	125	180	180	–	–
Англия	–	–	6	11	–	12	33	–	66	88	110	165	165	–	–

Во многих крупнейших городах мира, например в центральных районах Парижа, с большой плотностью застройки используют подстанции глубокого ввода с вторичным напряжением 20 кВ. Однако управление электрическими сетями Парижа отмечает, что отсутствие твердого плана застройки жилых районов, а также очередности освоения и характера предприятий, размещаемых в промышленных зонах, создает трудности при развитии распределительной сети 20 кВ.

В настоящее время в России разработаны и реализованы проекты сетей и подстанций на напряжение 20 кВ.

1. Подстанция 110/20/10 кВ «Сити» Центральных электрических сетей – филиала ОАО «МОЭСК».

Распределительная сеть 20 кВ начала развиваться с 2002 г. (ввод ПС 110 кВ «Сити-1»). Для строительства сети 20 кВ применяется самое современное оборудование: кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена и малогабаритное оборудование в распределительных и соединительных пунктах с элегазовой либо вакуумной изоляцией. В сети 20 кВ действует 26 РП, протяженность ПКЛ составляет 152 км, а их средняя длина – 4,3 км.

Развитие электрических сетей Москвы напряжением 6-10-20 кВ в период до 2020 г. предусматривает:

- ввод в работу питающих кабельных линий общей протяженностью 6988 км, в том числе напряжением 20 кВ – 2621 км и напряжением 10 кВ – 4367 км;

- строительство 657 новых распределительных пунктов, в том числе напряжением 20 кВ –

276 шт. и напряжением 10 кВ – 381 шт.;

- демонтаж 263 физически изношенных распределительных пунктов 6 и 10 кВ и около 3000 км питающих их кабельных линий.

Суммарные затраты на их развитие оцениваются величиной порядка 53 млрд. руб., из них 26,4 % на новое строительство ПКЛ 20 кВ; 38,5 % на ПКЛ 10 кВ; 8,8 % на сооружение РП (СП) 20 кВ; 19,5 % на сооружение и реконструкцию РП 10 кВ; 6,8 % на реконструкцию электрических сетей 10 кВ.

2. Подстанция закрытого типа «Белорусская» 110/20/10 кВ, предназначенная для обеспечения электроэнергией жилого микрорайона Москвы на Ходынском поле с общей нагрузкой более 80 000 кВА (рис. 1).

При проектировании и строительстве сети 20 кВ используются следующие основные схемные, технические и компоновочные решения:

2.1. Сеть 20 кВ строится как с использованием только СП, по магистральному принципу, так и с использованием двухзвеньевой схемы, то есть с РП и СП (рис. 2).

2.2. В случае использования магистральной схемы допускается наличие поперечных связей между магистралями только через распределительную сеть. Предусматриваются прямые связи между СП, выполненные кабелем сечением равным ПКЛ. АВР в СП не предусматривается, однако предусматривается телеуправление.

2.3. При использовании двухзвеньевой схемы применяются двухсекционные РП с АВР на секционном выключателе 20 кВ и питанием РП, как правило, от двух независимых территориально разнесенных ЦП по двум независимым (взаиморезервируемым) кабельным линиям.

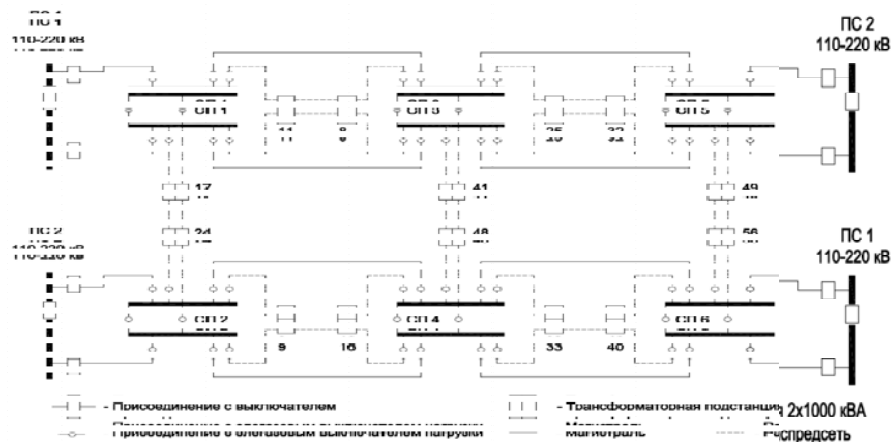


Рис. 1. Принцип построения схемы сети 20 кВ для электроснабжения застройки Ходынского поля

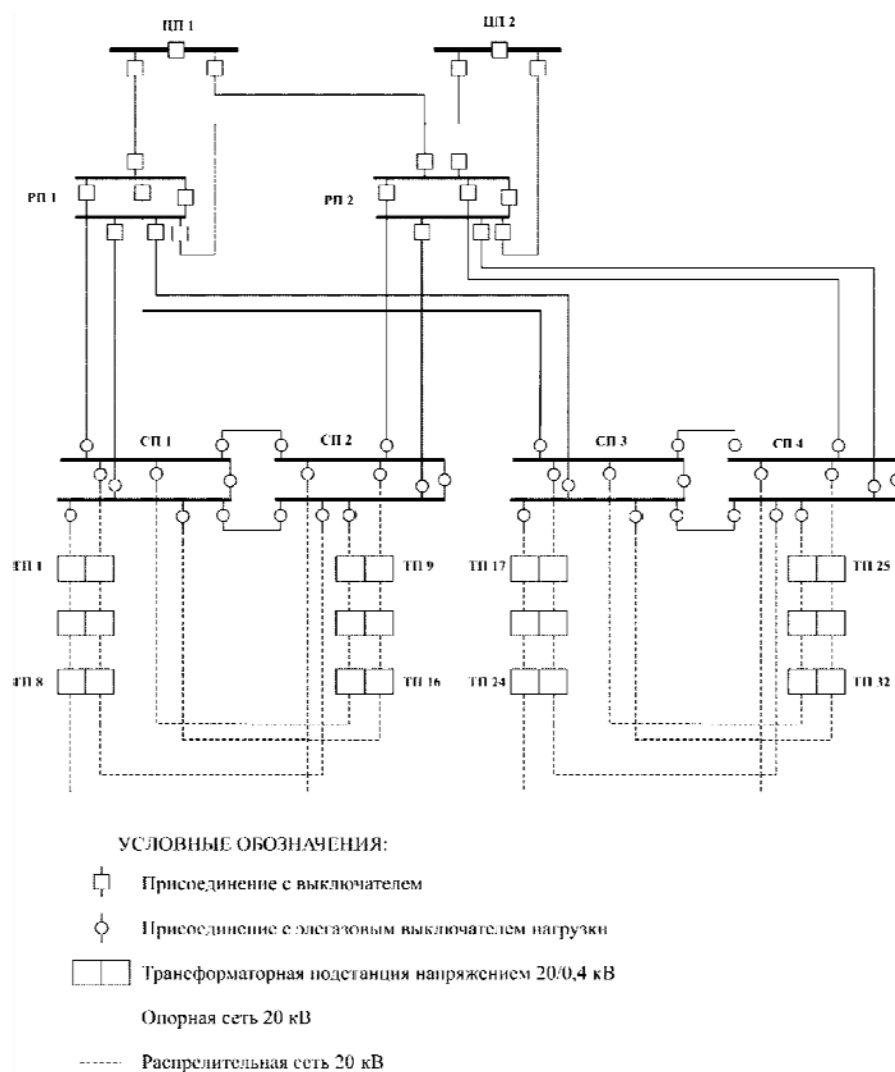


Рис. 2. Схема опорной сети 20 кВ с использованием СП и РП

2.4. Новые распределительные и соединительные пункты 20 кВ желательно исполнять малогабаритными блочного типа; в ячейках РУ 20 кВ РП приоритетно должны применяться элегазовые силовые выключатели.

2.5. Распределительная сеть 20 кВ строится по двухлучевой встречной схеме, при которой питание каждой ТП осуществляется по двум взаиморезервируемым кабелям.

2.6. Для прокладки кабельных линий 20 кВ

должны применяться кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

3. Проект строительства воздушно-кабельной линии 20 кВ от подстанции 110/10 кВ «Синегорье» до с. Усть-Цильма. Проект включает в себя строительство почти 9 км воздушной линии 20 кВ на левом берегу Печоры, реконструкцию 6 км линии 10/20 кВ на правом берегу и прокладку кабельной линии 20 кВ по дну реки (реализация филиалом МРСК Северо-Запада «Комизэнерго»). Ввод в эксплуатацию всего объекта выполнен в начале осенне-зимнего периода 2010–2011 гг.

Выводы

Преимущества более высоких классов напряжения для крупных городских сетей очевидны. Расчеты экспертов и аналитиков показали:

1. Реконструкцию необходимо проводить только в том случае, если существующие сети физически изношены, не удовлетворяют возросшим электрическим нагрузкам, и не способны обеспечить требуемые уровни напряжения в узлах электрической сети.

2. Оборудование 20 кВ, фактически, мало отличаются от сетей 10 кВ. Они являются сетями одного класса с точки зрения схем и компоновки РУ. Оборудование на 20 кВ (трансфор-

маторы, выключатели, шкафы КРУ) является комплектным, компактным и по размерам сопоставимо с оборудованием на 10 кВ. Отличие заключается только в уровне изоляции.

3. Потери электроэнергии в оборудовании 20 кВ в 2,7 раза меньше, чем в оборудовании 10 кВ, и в 7,5 раз меньше, чем в оборудовании 6 кВ.

4. Пропускная способность линий 20 кВ в три раза превышает пропускную способность линий 6 кВ и в 1,9 раз – 10 кВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боков, Г. С. Распределительные электрические сети. Оптимизация технологических и технических условий развития [Электронный ресурс] / Г. С. Боков, А. Н. Жулев // Новости электротехники: информационно-справочное издание. – 2012. – № 4(76). – Режим доступа : <http://www.news.elteh.ru/arh/2012/76/03.php>.
2. Гуревич, В. И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? // Электротехнический рынок. – 2012. – № 6 (36). – С. 62–66.
3. Лоскутов, А. А. Об эффективности применения напряжения 20кВ для распределительных электрических сетей / А. А. Лоскутов // Великие реки-2012: научный конгресс 14-го междунар. научно-промыш. форума / Н. Новгород, 2012. – С. 294–297.
4. Лоскутов, А. Б. Новый подход к построению электрических распределительных сетей России / А. Б. Лоскутов, Е. Н. Соснина, А. А. Лоскутов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2011. – С. 148–152.

УДК 66.045.122

А. Б. Голованчиков¹, Н. А. Прохоренко¹, Т. А. Дулькин²

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА, НЕФТИ И ПОЛИМЕРНОГО РАСТВОРА

¹ Волгоградский государственный технический университет

² Университет дружбы народов им. П. Лумумбы

E-mail: natasha292009@yandex.ru

Приводится расчет относительного диаметра трубопровода для природного газа и двух разных жидкостей различной плотности и вязкости, но при одинаковой длине и объемном расходе, удельной стоимости капитальных затрат и оборотных средств. Оценивается влияние затрат на электроэнергию в сравнении с амортизационными отчислениями и оборотными средствами.

Ключевые слова: оптимальный диаметр трубы, гидравлическое сопротивление, режим течения, стоимость электроэнергии, амортизационные отчисления, оборотные средства, мощность.

A. B. Golovanchikov¹, N. A. Prokhorenko¹, T. A. Dulkin²

COMPARATIVE CALCULATION OF THE OPTIMAL DIAMETER OF THE PIPELINE FOR NATURAL GAS, OIL OF POLYMER SOLUTION

¹ Volgograd State Technical University

² RUDN University

The calculation of the relative diameter of the pipeline for natural gas and two different liquids of different density and viscosity, but with the same length and volumetric flow rate, the specific cost of capital costs and working capital. The impact of energy costs is compared with depreciation and working capital.

Keywords: optimal pipe diameter, hydraulic resistance, flow regime, cost of electricity, depreciation, current assets, power.

При расчете оптимального диаметра трубопровода учитываются затраты электроэнергии для создания избыточного давления для преодоления сопротивления по длине и местных сопротивлений в вентиллях, других запорных устройствах, поворотах, П-образных или линзовых компенсаторах и т. п., а также амортизационные отчисления $C_{ак}$ и оборотные средства за ремонт и обслуживание $C_{ос}$. В этом случае общие затраты определяются простой формулой [1]:

$$C_o = C_e + C_{ак} + C_{ос}. \quad (1)$$

Последние два слагаемых можно определить в виде:

$$(C_{ак} + C_{ос}) = (A_{ак} + A_{ос}) \cdot l_t \cdot d_t, \quad (2)$$

где $A_{ак}$ и $A_{ос}$ соответственно удельные затраты на амортизационные отчисления за 1 м длины и 1 м диаметра трубы в год; l_t – длина трубопровода; d_t – его диаметр.

Сложнее определить затраты электроэнергии:

$$C_e = C_i \left(\frac{N}{\chi} \right) 24 \cdot n_p, \quad (3)$$

где N – мощность, кВт; χ – КПД насоса или компрессора (вентилятора); 24 – число часов в сутках; n_p – число рабочих суток в году; C_i – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Мощность:

$$N = (\Delta p_0 \cdot q_v) / (3600 \cdot 10^3), \quad (4)$$

где Δp_0 – общие потери давления, как сумма линейных и местных сопротивлений, Па; q_v – объемный расход газа или жидкости при рабочем давлении и температуре, м³/час.

$$\Delta p_0 = (1 + \Delta p_{ом}) \lambda \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5)$$

где $\Delta p_{ом}$ – доля местных сопротивлений (принимается от 10 до 30 %) [1]; λ – коэффициент линейных сопротивлений зависящий от числа Рейнольдса:

$$а) Re < 2320, \lambda = 64/Re; \quad (6)$$

$$б) 2320 < Re < 10000, \lambda = 0,316/Re^{0,25}; \quad (7)$$

для гидравлически гладких труб:

$$в) Re > 10000, \lambda = \lambda_{\epsilon}; \quad (8)$$

где ϵ – шероховатость стенки трубы, м.

Соответственно формулы суммарной стоимости эксплуатации трубопровода в год с учетом уравнений (1–8) принимают вид:

$$Re \leq 2320, C_{ос} = \frac{a_1}{d_t^4} + a_2 \cdot d_t; \quad (9)$$

$$2320 \leq Re \leq 10000,$$

$$C_{ос} = \frac{a_1}{d_t^{4,75}} + a_2 \cdot d_t; \quad (10)$$

$$Re \geq 10000,$$

$$C_{ос} = \frac{a_1}{d_t^5} + a_2 \cdot d_t; \quad (11)$$

Взяв производные по диаметру труб для уравнений (9–11) соответственно, получаем после приравнивания этих производных нулю:

а) если $Re \leq 2300$, то

$$d_t = \left(\frac{4a_1}{a_2} \right)^{1/5}, \quad (12)$$

$$\text{где } a_1 = 24n_p \cdot c_i \cdot k_{\Delta p} \cdot q_{vp} / (1000 \cdot \chi); \quad (13)$$

$$k_{\Delta p} = 32(1 + \Delta p_m) \mu \cdot q_{vp} \cdot l_t / 0,785;$$

$$q_{vp} = q_v / 3600 - \text{для жидкостей};$$

$$q_{vp} = (q_v / 3600) \left(\frac{273 + t}{273} \right) (1,033 / p) - \text{для газов};$$

$$a_2 = (C_{ак} + C_{ос}) l_t;$$

б) если $2320 < Re \leq 10000$,

$$\text{то } d_t = \left(\frac{4,75a_1}{a_2} \right)^{1/5,75},$$

где a_1 описывается формулой (13), но

$$k_{\Delta p} = 0,241(1 + \Delta p_m) \mu^{0,25} \cdot q_{vp}^{1,75} \cdot l_t \cdot \rho^{0,75};$$

в) если $Re > 10000$, то

$$d_t = \left(\frac{5a_1}{a_2} \right)^{1/6},$$

но в a_1 коэффициент

$$k_{\Delta p} = (1 + \Delta p_m) \lambda \cdot l_t \cdot \rho (q_{vp} / 0,785)^{0,75} / 2,$$

где q_{vp} – секундный расход перекачиваемой среды.

В табл. 1 приведены исходные и справочные данные для расчета трубопроводов с различными средами: метаном, раствором полимера и тяжелой нефти. Часть параметров выбраны одинаковыми. Прежде всего это объемная производительность, удельные амортизационные отчисления и оборотные средства и стоимость одного кВт·часа электроэнергии.

Принципиальное отличие вышеназванных перекачивающих сред связаны с большой разницей вязкости и плотности. Соответственно рассчитанные значения попадают:

– для газа в турбулентный режим течения ($Re > 10000$);

– для раствора полимера – в ламинарный режим течения ($Re < 2320$);

– для тяжелой нефти ($2320 < Re < 10000$) – в переходный режим течения.

Таблица 1

Исходные и справочные данные для расчета оптимальных технико-экономических параметров трубопровода

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина		
			газ	раствор полимера	тяжелая нефть
1	2	3	4	5	6
Параметры, одинаковые для всех трех трубопроводов [1]					
Производительность	м ³ /час	q_v	500	500	500
Длина трубопровода	м	l_l	4000	4000	4000
Температура рабочая в трубопроводе	°С	t	15	15	15
Годовая удельная стоимость на 1 м длины и 1 м диаметра трубопровода	руб/м ² год	$A_{ак}$	18	18	18
а) амортизационных отчислений					
б) оборотных средств	руб/кВт·час	$A_{ос}$	13,5	13,5	13,5
Стоимость одного кВт – часа электроэнергии					
Число рабочих суток в год	сутки/год	n_p	300	300	300
Кпд насоса или компрессора и привода	–	χ	0,5	0,5	0,5
Доля местных сопротивлений по отношению к сопротивлению по длине	–	$\Delta p_{ом}$	0,1	0,1	0,1
Справочные данные зависящие от свойств перекачиваемой среды					
Плотность газа при 0 °С и атмосферном давлении или плотность жидкости при рабочей температуре	кг/м ³	ρ	0,714	900	1050
Молекулярная масса газо-метана	кг/кмоль	M	16	–	–
Среднее давление газа в трубопроводе	ата	P	1,11	–	–
Вязкость среды при рабочей температуре и давлении	Пас	μ	$1,15 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,07

Из особенностей результатов расчетов (табл. 2), прежде всего, обращает внимание на себя значительно меньшие средние скорости газа и жидкостей, соответствующие оптимальные диаметры труб.

Обычно для газов рекомендуются скорости газов в трубах 20–30 м/с [2], а по расчету для оптимального диаметра метанопровода она должна быть в 10 раз меньше (см. столбик № 5 и 2 в табл. 2). Для жидкостей скорости в трубах рекомендуются $v = 1\text{--}2$ м/с, а по расчетам для оптимального диаметра трубы они в 10 раз меньше (см. столбцы № 6, 7 и 2 в табл. 2). Поэтому и расчетные оптимальные диаметры трубопроводов завышены в $\sqrt{10}$ раз. Это и приводит в типовых алгоритмах к росту энергозатрат, при задании скоростей газов $v = 20\text{--}30$ м/с, а жидкостей $v = 1\text{--}2$ м/с по сравнению с амортизационными отчислениями на капитальные

затраты и с оборотными средствами за ремонт и обслуживание.

По расчетам, представленным в табл. 2, при выборе оптимального диаметра газопровода и скорости $v \approx 2$ м/с энергозатраты составляют около 17 % всех вышеназванных затрат, а сейчас в типовых алгоритмах при рекомендуемых скоростях газа $v \approx 20$ м/с в трубопроводе они возрастают более чем в три раза и становятся преувеличивающими по сравнению с капитальными затратами и оборотными средствами. То же для перекачивания жидкостей. Если по данным табл. 2 при скоростях в типовых алгоритмах $v < 0,2$ м/с энергозатраты составляют от 17 до 20 % в общей стоимости затрат (см. столбики 6 и 7 и в них № 13), то при современных рекомендациях для скоростей $v \approx 1\text{--}2$ м/с энергозатраты возрастают до половины общей стоимости эксплуатации трубопровода в год.

Таблица 2

**Основные расчетные технико-экономические параметры трубопроводов,
соответствующие оптимальному диаметру трубы**

Наименование параметра	Размер- ность	Обозна- чение	Величина		
			газ	раствор полимера	Тяжелая нефть
1	2	3	4	5	6
Параметры одинаковые для всех трех трубопроводов					
Оптимальный внутренний диаметр трубопровода	м	d_t	0,282	1,124	1,014
Средняя скорость перекачиваемой среды	м/с	v	2,18	0,14	0,17
Число Рейнольдса	—	Re	38959	566,9	2616,2
Коэффициент линейного сопротивления	—	λ	0,03	0,113	0,442
Газовый объем перекачиваемой среды	м ³ /год	$V_{об} \cdot 10^{-6}$	3,6	3,6	3,6
Мощность насоса или компрессора	кВт	N	0,111	0,543	0,412
Потери давления по длине	ат	Δp_a	0,008	0,04	0,03
Годовая стоимость электроэнергии	руб/год	C_z	7216,8	35385	26908
Годовые амортизационные отчисления	руб/год	$C_{ак}$	20309	80903	73039
Годовые затраты оборотных средств	руб/год	$C_{ос}$	15232	60677	54779
Общие затраты за год	руб/год	$C_{об}$	42758	176975	154726
Стоимость перекачивания 1000м ³ газа или жидкости	руб/1000м ³	C_t	11,88	49,16	42,98
Доля в общих затратах:					
а) электроэнергии	—	O_e	0,169	0,20	0,174
б) амортизационных отчислений		O_k	0,475	0,457	0,472
в) оборотных средств		$O_{ос}$	0,356	0,343	0,354

Таким образом, из-за высокой стоимости электроэнергии в России при проектировании газопроводов необходимо снизить скорости газов с 20–30 м/с до (0,2÷0,3) м/с, а жидкостей с (1–2) м/с до (0,15–0,2) м/с. Это приводит к росту оптимального расчетного диаметра трубопровода, росту затрат на амортизационные отчисления и оборотных средств, но резко снижают долю затрат на электроэнергию.

Таким образом, предлагаемый алгоритм расчета оптимального диаметра трубопровода и соответствующих ему технико-экономических обстоятельств позволяет минимизировать общие годовые затраты, связанные со стоимостью электроэнергии, амортизационных отчислений и оборотных средств, снизить долю стоимости электроэнергии в общих затрат, но при этом потребуются увеличение диаметра трубопровода, а значит возрастание доли капитальных затрат и оборотных средств.

Как следует из вышесказанного, в связи со значительным увеличением стоимости электроэнергии в РФ по сравнению с ее стоимостью в СССР возрастает доля стоимости энергозатрат в общей стоимости эксплуатации трубопровода, а так как энергозатраты связаны с гидравли-

ческим сопротивлением трубопровода, то необходимо его уменьшить. Существуют многочисленные способы и устройства для снижения гидравлического сопротивления [2–10]. Здесь перспективным методом наряду с уменьшением шероховатости внутренней трубы является создание пристанного маловязкого кольцевого потока жидкости или газа [11]. Однако, проблема устойчивости этого потока остается открытыми, так как даже при ламинарном течении маловязкая пристенная жидкость растворяется в основном ядре потока высоковязкой жидкости менее чем через 1 км, а при турбулентном течении через сотню метров [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, 2013. – 576 с.
2. Алиев, Р. А. Трубопроводный транспорт нефти и газа : учеб. для вузов / Р. А. Алиев [и др.]. – М. : Недра, 1988. – 368 с.
3. Коннова, Г. В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа : Учебное пособие для вузов / Г. В. Коннова. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 128 с.
4. Мастобаев, Б. Н. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти / Б. Н. Мастобаев.

ев, А. М. Шаммазов, Э. М. Мовсумзаде. – М. : Химия, 2002. – 296 с.

5. Голованчиков, А. Б. Теоретические основы течения жидкостей в трубопроводе с маловязкими пограничным слоем : учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, А. В. Ильин, Л. А. Ильина ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 92 с.

6. Способы перемещения вязких нефтей и нефтепродуктов : пат. 2262035 Российская Федерация : МПК F 17 D 1/14, F 15 D 1/02 / Голованчиков А. Б., Ильина Л. А., Ильин А. В., Дулькин Н. А., Конопальцева Е. Н. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ВолгГТУ». – № 2004109505/06; заявл. 29.03.2004 ; опубл. 10.10.2005 ; Бюл. № 28.

7. Устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе : пат. 2285198 Российская Федерация : МПК F 17 D 1/20, F 15 D 1/06 / Голованчиков А. Б., Ильина Л. А., Ильин А. В., Дулькина Н. А., Дулькин А. Б., Карашук Д. С. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ВолгГТУ». – № 2005107289/06 ; заявл. 15.03.2005 ; опубл. 10.10.2006 ; Бюл. № 28.

8. Устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе : пат. 2241868 Российская Федерация : МПК F 15 D 1/06, F 17 D 1/20 / Голованчиков А. Б., Ильина Л. А., Ильин А. В., Лобойко В. Ф., Якушко М. В. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ВолгГТУ». – № 2003110552/06 ; заявл. 14.04.2004 ; опубл. 10.12.2004 ; Бюл. № 34.

9. Трубопроводный магистральный транспорт нефти и газа. Эксплуатация, ремонт и модернизация трубопроводов [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа : https://www.12821-80.ru/tech/88-Truboprovodnyj_transport_nefti_gaza (дата обращения 02.12.2013).

10. Голованчиков, А. Б. Моделирование двухсложного течения жидкостей в трубопроводе : учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Е. В. Васильева ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – 72 с.

11. Голованчиков, А. Б. Граничная устойчивость гетерофазных жидкостей на макро- и микроуровнях : моногр. / А. Б. Голованчиков, Е. В. Васильева, Л. А. Ильина ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – 128 с.

УДК 532.135

А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, Ш. М. Масука
АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ТАБЛИЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ПО РАВНОВЕСИЮ БИНАРНОЙ СМЕСИ
МЕТОДАМИ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ
И НАИМЕНЬШИХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КВАДРАТОВ

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

Проводится сравнение точности аппроксимации табличной зависимости по равновесию бинарной смеси МНК и МНОК с обработкой результатов методом корреляционного анализа. В качестве параллельных опытов используются ординаты точек, рассчитанные методом геометрического подобия ординаты двух смежных точек. Показываются преимущества и недостатки каждого метода.

Ключевые слова: методы наименьших квадратов и наименьших относительных квадратов, равновесие бинарной смеси, корреляционный анализ.

A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko, Sh. M. Masuka
ANALYSIS OF CORRELATION TABLE DEPENDENCE
ON THE BINARY MIXTURE EQUILIBRIUM BY THE METHODS
OF THE LEAST SQUARES AND THE LEAST RELATIVE SQUARES
Volgograd State Technical University

A comparison is made of the accuracy of the approximation of the tabular dependence on the equilibrium of a binary mixture of MNK and MNOK with the processing of the results by correlation analysis methods. As parallel experiments, the ordinates of points calculated by the method of geometric similarity of the ordinates of two adjacent points are used. The advantages and disadvantages of each method are shown.

Keywords: least squares and least relative squares methods, equilibrium binary mixture, correlation analysis.

Для аппроксимации табличных зависимостей бинарных смесей предложено алгебраическое уравнение;

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

которое линеаризуется в координатах:

$$\ln\left(\frac{1}{y^*} - 1\right) = \ln k + n \ln\left(\frac{1}{x} - 1\right).$$

Его можно переписать в виде

$$Y = A + BX, \quad (2)$$

где $A = \ln k$; $B = n$; $X = \ln\left(\frac{1}{x} - 1\right)$; $Y = \ln\left(\frac{1}{y^*} - 1\right)$.

Сравнение локальных отклонений табличных значения концентрации легколетучего в паре y^* от расчетных, полученных МНК и МНОК для бинарных смеси «ацетон – вода» приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение локальных отклонений $\delta\%$ равновесных концентраций легколетучего в паре y^* , расчетных y^*

№	y^*	y_m^*		$\delta, \%$	
		МНК	МНОК	МНК	МНОК
1	0	0	0	0	0
2	0,576	0,619	0,582	6,52	1,03
3	0,695	0,690	0,670	-0,68	-3,59
4	0,788	0,762	0,753	-3,3	-4,48
5	0,825	0,803	0,800	-2,59	-3,09
6	0,842	0,833	0,833	-1,03	-1,03
7	0,855	0,857	0,859	0,17	0,47
8	0,869	0,878	0,882	1,03	1,54
9	0,884	0,897	0,908	1,49	2,15
10	0,908	0,918	0,929	1,04	1,79
11	0,947	0,941	0,998	-0,65	0,09
12	1	1	1	0	0

Как видно из данных табл. 1, максимальные локальные относительные отклонения табличных значений y^* от теоретических, рассчитанные МНОК не превышают $|4,5| \%$, а в МНК они более $6,5 \%$.

Был проведен анализ алгебраических уравнений с их коэффициентами полученными обоими методами:

$$\left. \begin{aligned} y_{МНК}^* &= \frac{1}{1 + 0,167\left(\frac{1}{x} - 1\right)^{0,495}} \\ y_{МНОК}^* &= \frac{1}{1 + 0,161\left(\frac{1}{x} - 1\right)^{0,5015}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Как видно из уравнений системы (3) сами коэффициенты k и n в обоих методах незначительно отличаются друг от друга. Так для ко-

эффициента k эта разница равна $\delta_k = -0,91 \%$, а для коэффициента n равна $\delta_n = 1,3 \%$. Однако в локальных максимальных относительных отклонениях они в МНК в 1,65 раза больше, чем МНОК. Был проведен корреляционный анализ полученных уравнений системы (3).

В качестве параллельного опытного значения ординаты $y_{(i)}^*$ была взята ордината, рассчитанная по формуле подобия с учетом значений $y_{(i-1)}^*$ и $y_{(i+1)}^*$. В этом случае все расчеты велись в пределах от $i = 2$ до $i = n-1$, где $m = 12$ – число основных табличных данных по равновесию бинарной смеси.

В табл. 2 приведены локальные значения равновесных значений концентрации в паре для заданных табличных значений y_1^* , рассчитанных параллельных y_2^* и средних y_c^* .

Таблица 2

Табличные значения y_1^* , параллельные им y_2^* равновесной концентрации в паре и соответствующие им средние равновесные концентрации y_c^*

№	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
y_1^*	0.603	0.720	0.803	0.827	0.842	0.855	0.869	0.882	0.904
y_2^*	0.360	0.670	0.774	0.823	0.841	0.856	0.869	0.886	0.912
y_c^*	0.576	0.695	0.788	0.825	0.842	0.855	0.869	0.884	0.908

В табл. 3 приведены результаты корреляционного анализа.

Таблица 3

**Результаты корреляционного анализа обработки
экспериментальных данных МНК/ МНОК**

№	Наименование параметра	Обозначение	Величина параметра		Вывода
			табличное значение	расчетные значения	
1	Воспроизводимость экспериментальных данных в параллельных опытах (Критерий Кохрена) (не зависит от метода МНК или МНОК)	G	0.602	0.3117	есть
2	Адекватность уравнения регрессии экспериментальных данных (критерий Фишера)	F	3.07	3,05 2,35	есть
3	Значимость коэффициентов уравнения регрессий (критерий Стьюдента) по коэффициенту а по коэффициенту b	St	2.23	t _a =1971.9 t _b =495.7 t _a =1995.1 t _b =552.9	есть
4	Корреляционная связь между функцией и аргументом, определяемая по коэффициенту корреляция	R		0.987 0.987	Корреляционная высокая

Как видно из табл. 3, оба метода обеспечивают воспроизводимость в параллельных опытах (расчетные значения критериев Кохрена меньше табличных), адекватность математической модели (расчетные значения критериев Фишера меньше табличного), значимость коэффициентов, определяемых по критерию Стьюдента, и высокую корреляцию связь между аргументами и функцией.

Однако если расчеты критериев Кохрена и корреляционная связь не зависят от МНК или МНОК, то для МНОК критерий Фишера меньше, чем его значение для МНК: это говорит в пользу повышения точности расчетов МНОК по сравнению МНК на:

$$\delta_{Fr} = \frac{3,05 - 2,35}{3,05} \cdot 100 = 23 \% .$$

То же можно сказать о значимости коэффициентов полученных уравнений, но здесь повышение точности в два раза меньше, чем для критерия Фишера и составляет:

по а:

$$\delta_a = \frac{1995,1 - 1971,9}{1971,9} \cdot 100 = 11,8 \% ;$$

по b:

$$\delta_b = \frac{552,9 - 495,7}{552,9} \cdot 100 = 10,3 \% .$$

Таким образом, МНОК при аппроксимации табличных зависимостей по равновесию бинарной смеси «ацетон – вода» повышает точность

расчетов коэффициентов уравнения (1), связанную с уменьшением наибольших относительных отклонений расчетных значений равновесных концентраций в паре y_m^* от заданных табличных значений y^* почти в 1,5 раза, тоже касается интегральных показателей адекватности по критерию Фишера и значимости коэффициентов по критерию Стьюдента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аппроксимация табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей степенным уравнением / А. Б. Голованчиков, А. А. Решеников, А. С. Остроухова, Е. Г. Фетисова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Реология, процесс и аппараты химической технологий» ; вып. 4). – С. 37–40.
2. Повышение точности при аппроксимации табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей / А. Б. Голованчиков, Е. В. Васильева, А. С. Остроухова, А. А. Решетников // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия: «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»). – С. 9–11.
3. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов : Практическое руководство / В. А. Холоднов [и др.]. – СПб.: Профессионал, 2003. – 480 с.
4. Расмуссон, А. Математическое моделирование в химическом машиностроении / А. Расмуссон, В. Андерссон. – Кембридж Университет; CUP, 2014. – 197 с.
5. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – Киев : Вища школа, 1976. – 184 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 2020 г. (научные издания). Поз. № 17ж. Дата выхода в свет 00.00.2020 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,47.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №

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

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

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

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

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Диск должен быть вложен в отдельный конверт, на этикетке указываются фамилии авторов статьи.

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

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

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

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