



*Году
периодической
таблицы
Менделеева Д.И.
посвящается*

*В рамках
Фестиваля науки
в Тамбовской
области*



ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

ВЫПУСК XII

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ, ПРИБОРЫ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ
БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ**

Научное электронное издание

**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российская экологическая академия
Ассоциация «Объединенный университет им. В. И. Вернадского»
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

**Сборник научных статей
молодых ученых, аспирантов и студентов**

Выпуск XII

**Фундаментальные естественные науки
Информационные системы и технологии
Системный анализ и управление, приборы
Материаловедение, нанотехнологии, машиностроение
Биотехнология, биомедицинская инженерия
Процессы и аппараты химических и других технологий
Энергетика, энергоснабжение, энергосбережение
Архитектура и строительство, транспорт**

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2020

ББК я43
П78

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доц. М. В. Соколов (ответственный редактор);
д-р техн. наук, проф. В. И. Леденев; д-р техн. наук, проф. В. В. Леденев;
д-р пед. наук, проф. Н. П. Пучков; д-р ист. наук, проф. А. А. Слезин;
д-р техн. наук, проф. Н. С. Попов; д-р техн. наук, проф. С. В. Пономарев;
д-р техн. наук, проф. П. В. Монастырев; д-р техн. наук, проф. О. С. Дмитриев;
д-р техн. наук, проф. Ю. Ю. Громов; д-р техн. наук, проф. Н. Ц. Гатапова; д-р техн. наук,
проф. А. Г. Ткачев; д-р техн. наук, проф. Д. М. Мордасов;
д-р техн. наук, проф. Г. С. Баронин; М. А. Евсейчева

**П78 Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития [Электронный ресурс] : сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов / ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – Вып. XII. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 00,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-8265-2286-8**

В сборнике представлены статьи участников отборочного тура программы У.М.Н.И.К. 2020 г. в рамках Пятнадцатой межвузовской научной студенческой конференции Ассоциации «Объединенный университет им. В. И. Вернадского» «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития», а также молодых ученых, аспирантов и студентов по приоритетным научным направлениям университета: фундаментальные естественные науки; информационные системы и технологии; системный анализ и управление, приборы; материаловедение, нанотехнологии, машиностроение; биотехнология, биомедицинская инженерия; процессы и аппараты химических и других технологий; энергетика, энергоснабжение, энергосбережение; архитектура и строительство, транспорт.

Материалы могут быть полезны преподавателям, аспирантам, студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

ББК я43

Сборник подготовлен по материалам, предоставленным в электронном варианте, и сохраняет авторскую редакцию.

Все выпуски сборника размещены в Научной электронной библиотеке (РИНЦ) elibrary.ru

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-8265-1643-0 (общ.) © Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2020
ISBN 978-5-8265-2286-8 (вып. XII)

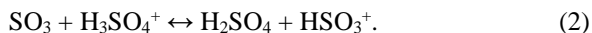
УДК 66.094.524:544.18

*Д. П. Ростова, К. К. Кузьменко**

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОГО РАВНОВЕСИЯ В ОЛЕУМЕ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

Истинными сульфурющими агентами серной кислоты и олеума могут быть HSO_3^+ , H_3SO_4^+ , полисерные кислоты, а также SO_3 , его димеры и тримеры [1].

Одним из наиболее сильных сульфурющих агентов является сульфурилий-катион, образующийся по реакциям:



Суммарная реакция:



Целью данной работы является определение термодинамического равновесия реакций (1)–(2) и констант образования катионов HSO_3^+ и H_3SO_4^+ в 100%-ной серной кислоте и олеуме с концентрацией свободного SO_3 5 и 15%.

Исследование равновесия осуществлялось методом теории функционала плотности с учетом влияния растворителя по континуальной модели COSMO и явным добавлением четырех молекул серной кислоты. Диэлектрическая проницаемость среды бралась 101 (100% H_2SO_4), 259 (5% SO_3) и 359 (15% SO_3) [2]. Конформационный анализ и геометрия наиболее стабильных комплексов растворителя с исследуемыми частицами приведены в работе [3].

В качестве расчетного метода применялся функционал PBE с базисным набором aug-cc-pVTZ, все расчеты проводились в программном комплексе ORCA [4].

Были рассчитаны изменения свободной энергии Гиббса для реакций:

$$\Delta G_1 = G_{\text{HSO}_4^-} + G_{\text{H}_3\text{SO}_4^+} - 2G_{\text{H}_2\text{SO}_4};$$

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ГГТУ» А. А. Дегтярева.

$$\Delta G_2 = G_{\text{HSO}_3^+} + G_{\text{H}_2\text{SO}_4} - G_{\text{H}_3\text{SO}_4^+} - G_{\text{SO}_3};$$

$$\Delta G_3 = G_{\text{HSO}_4^-} + G_{\text{HSO}_3^+} - G_{\text{H}_2\text{SO}_4} - G_{\text{SO}_3}.$$

Все вышеперечисленные энергии рассчитывались с учетом сольватной оболочки из четырех молекул серной кислоты.

Константы равновесия реакций рассчитывались по формуле

$$K_i = e^{-\frac{\Delta G_i}{R \cdot T}}.$$

Результаты расчета энергии Гиббса представлены на рис. 1 – 3.

Сравнение расчетного изменения энергии Гиббса для реакции (1) с экспериментальными данными по равновесию реакции самодиссоциации безводной серной кислоты говорит о высокой точности применяемых методов: расчетное значение $\Delta G_{298} = 19,7$ кДж/моль, экспериментальное $\Delta G_{298} = 20,65$ кДж/моль [2].

Для реакций (1) и (3) наблюдается возрастание ΔG с увеличением температуры, что говорит об отрицательной энтропии данных реакций. Для реакции (2) наблюдается положительная энтропия при малых концентрациях свободного SO_3 (0% и 5%), при ее увеличении до 15% происходит смена знака изменения энтропии реакции.

Из графиков рис. 1, 3 видно, что увеличение доли свободного SO_3 (и соответственно, увеличение диэлектрической проницаемости среды) приводит к смещению равновесия в сторону образования катионов HSO_3^+ и H_3SO_4^+ .

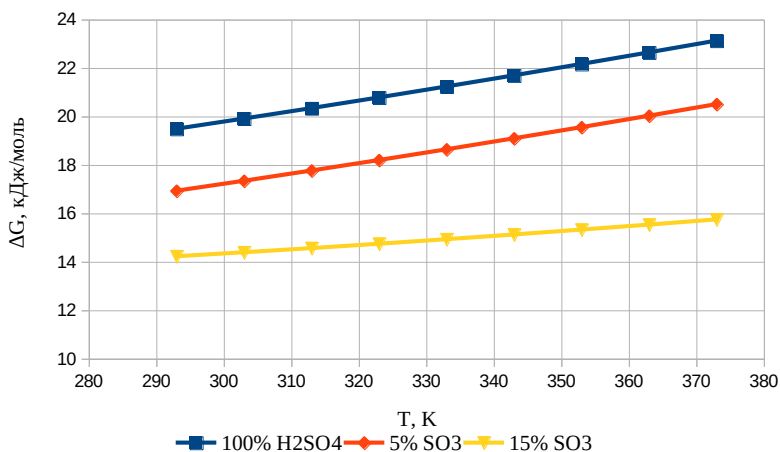


Рис. 1. Изменение энергии Гиббса для реакции (1)

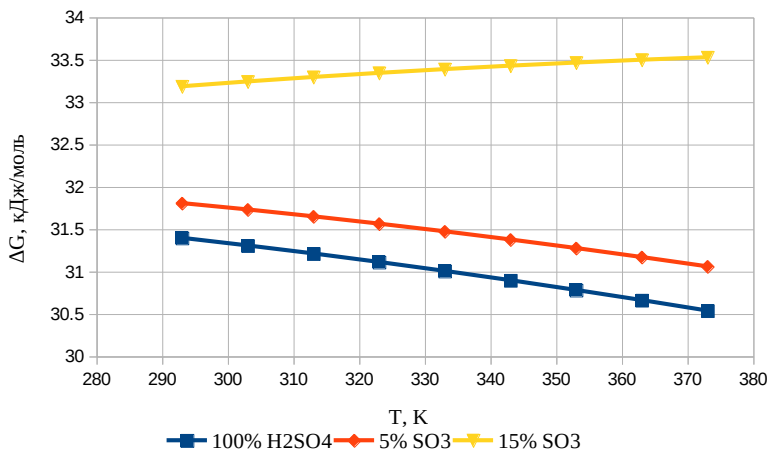


Рис. 2. Изменение энергии Гиббса для реакции (2)

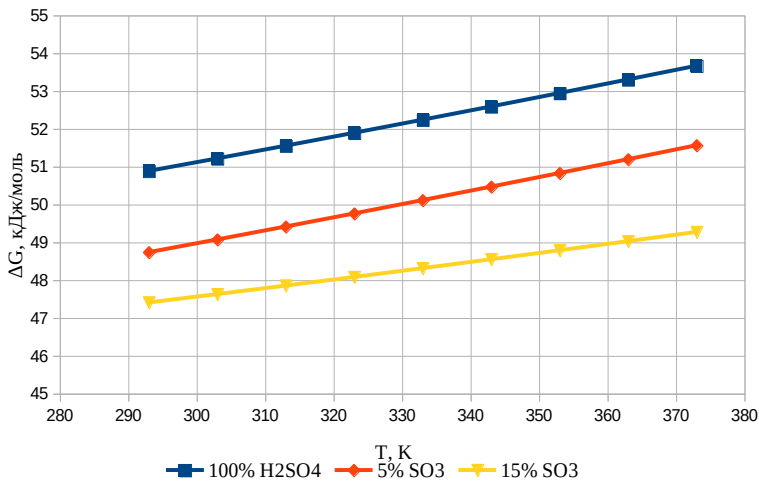


Рис. 3. Изменение энергии Гиббса для реакции (3)

Расчетные значения константы равновесия в диапазоне температур 20...100 °С для реакции (3) приведены на рис. 4.

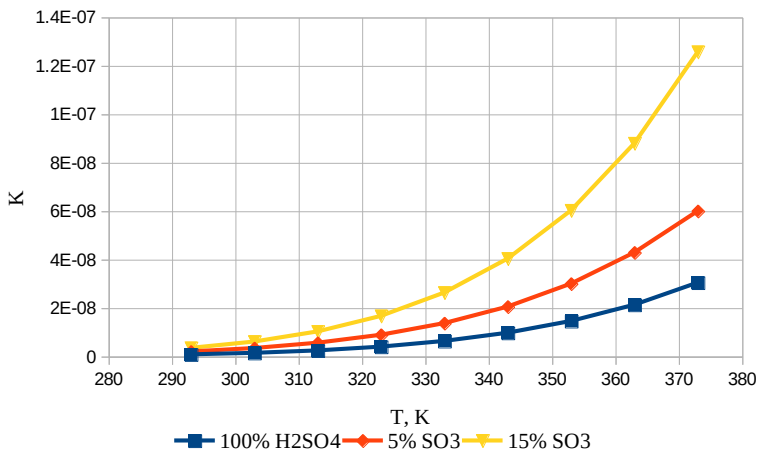


Рис. 4. Изменение константы равновесия для реакции (3)

Из рисунка 4 видно, что константа равновесия реакции (3) растет при увеличении температуры и при переходе к более концентрированному олеуму, максимальное значение которого она достигает $1,26 \cdot 10^{-7}$ при 100 °C и 15% свободного SO₃.

Список литературы

1. Okuyama, T. I. Organic Chemistry: A Mechanistic Approach / T. I. Okuyama, H. Maskill. – OUP Oxford, 2013.
2. Warlafen, G. Raman Spectral Studies of Oleums / G. Warlafen // The Journal of Chemical Physics. – 1964. – V. 40. – P. 2326 – 2341. DOI: 10.1063/1.1725511.
3. Дегтярев, А. А. Моделирование влияния растворителя на возможность образования катиона HSO₃⁺ / А. А. Дегтярев, Д. П. Ростова // Бутлеровские сообщения. – 2020. – Т. 62, № 4. – С. 51 – 56. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/20-62-4-51.
4. Neese, F. Software update: the ORCA program system, version 4.0 / F. Neese // WIREs Comput Mol Sci. – 2017. – V. 8(1). – P. e1327. DOI: 10.1002/wcms.1327.

Кафедра «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 003.26

*А. М. Желудкова**

О КРИПТОЗАЩИТЕ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В наши дни человечество совершает одно открытие за другим. Экологическая обстановка в развитых и развивающихся странах становится все хуже, что существенно влияет на здоровье человека. Еще с прошлого столетия государства стали предпринимать попытки контроля данной ситуации. Одной из таких попыток стал Киотский договор, призванный снизить сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу. Для контроля выбросов используется система экологического мониторинга (ЭМ). Проблема в том, что соблюдение условий договора влечет за собой дополнительные траты на очистные сооружения и штрафы за нарушения. Следовательно, большое количество людей заинтересовано в подделке результатов экологического мониторинга [1].

Задача состоит в обеспечении станций ЭМ средствами защиты информации о состоянии окружающей среды от изменения или, как говорят, обеспечения их аутентичности. Это можно было бы сделать с помощью шифрования. Но станции экологического мониторинга расположены на территории суверенных государств, а данные от них передаются в международные организации. Поэтому спецслужбы могут потребовать предоставления им ключа шифрования для исключения возможности передачи разведывательной информации. Но сторона, располагающая ключом шифрования, может влиять на содержание передаваемых данных, нарушая их аутентичность.

Проблема может быть решена при использовании асимметричного шифрования. Данные на станции ЭМ будут зашифрованы секретным ключом, а получатель сможет расшифровать их, используя открытый ключ. Благодаря этому любой заинтересованный субъект сможет ознакомиться с содержанием данных экологического мониторинга, а модификация этих данных будет невозможна.

Для шифрования предлагается использовать алгоритм на основе эллиптических кривых (ЭК). Выбор алгоритма обусловлен тем, что по

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» В. А. Гриднева.

сравнению с другими алгоритмами асимметричного шифрования (RSA, Эль-Гамала), определенная надежность ключа будет обеспечиваться его меньшим размером [2]. Скорость криптографических преобразований также будет значительно выше, что позволит использовать их в условиях технических ограничений станций ЭМ.

Допустим, для нужд ЭМ заданы параметры уравнения кривой. Станция генерирует пару закрытый–открытый ключ. Сообщение, зашифрованное секретным ключом, можно расшифровать открытым ключом. Вычисление секретного ключа по открытому ключу относится к труднорешаемым задачам. Открытый ключ рассылается на принимающую сторону для расшифровки сообщения или помещается в публичный справочник. Для удобства открытый ключ можно отправлять вместе с сообщением. Закрытый ключ известен только станции ЭМ, что позволяет обеспечить аутентичность передаваемых данных.

Текст или отдельный блок сообщения, как обычно при асимметричном шифровании, переводится в числовую форму и приводится к целочисленному виду. На ЭК получаем координаты точки, которые шифруются и передаются.

Благодаря открытому ключу на приемной стороне можно будет восстановить сообщение.

Помимо этого, предлагается использовать в сообщении несколько меток: метка времени, идентификатор станции ЭМ, случайное число. Метка времени необходима для предотвращения повторения сообщений. Каждое новое сообщение будет иметь другую метку времени. Каждая станция имеет уникальный идентификатор, а случайное число заранее известно и является параметром системы наряду с коэффициентами уравнения эллиптической кривой.

Станция ЭМ шифрует измеренные показатели, добавляет к ним метку времени, идентификатор и случайное число. Станция вычисляет значение хэш-функции из идентификатора и случайного числа. Это значение вместе с меткой времени и идентификатором отправляются в организацию. Организация по метке времени проверяет сообщение на наличие атаки типа повтора. Далее по базе находят соответствие идентификатора и случайного числа. На их основе вычисляется значение хэш-функции и сравнивается со значением, принятым от станции [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование меток времени, случайного числа и идентификатора станции исключает возможность повтора ранее переданных сообщений, а асимметричное шифрование позволяет исключить подмену данных. Подобная схема может найти применение в любой системе, требующей исключения постороннего вмешательства.

Ранее уже говорилось о технической ограниченности станций ЭМ. Предполагается создание небольшого аппаратного модуля, который решил бы эту проблему, и программного обеспечения для него.

Организация, отвечающая за обслуживание станции ЭМ, задает на ней параметры ЭК, таких как: модуль; простое число, обозначающее порядок циклической подгруппы группы точек ЭК; коэффициенты уравнения ЭК; координаты базовой точки. На основании этих параметров модуль генерации ключей будет автоматически генерировать пару ключей – секретный (для зашифрования) и открытый (для расшифрования).

Передающий модуль программы на станции ЭМ проводит необходимые криптографические преобразования измеренных данных экологического мониторинга, формирует пакет сообщения и отправляет его в международную организацию.

Приемный модуль разработанного ПО содержит те же параметры криптосистемы, что и передающий модуль. В интерфейсе приемного модуля разработанного ПО, предусмотрены поля для указания пути к файлу, подлежащему расшифрованию и содержащему открытый ключ для расшифрования.

Приемный модуль разработанного ПО после предварительной обработки принятого пакета сообщения проводит его проверку на предмет случайных искажений путем верификации контрольной суммы. В случае обнаружения ошибок, выполняется автоматический перезапрос передачи пакета. При успешной верификации контрольной суммы принятый пакет передается для дальнейшей обработки.

После расшифрования принятого сообщения приемный модуль ПО проводит верификацию метки времени. Если для расшифрованного сообщения фиксируется несоответствие метки времени, то данное сообщение стирается. Если же верификация метки времени прошла успешно, то принятое сообщение передается для использования по назначению.

Текст принятого сообщения выводится в специальном окне программы, но при необходимости его можно сохранить в виде отдельного файла. Для этого в приемном модуле разработанного ПО предусмотрено указание пути сохранения файла.

Невозможность корректного расшифрования принятого сообщения при соблюдении всех вышеуказанных условий будет однозначно свидетельствовать о его несанкционированной умышленной модификации. В этом случае принятое сообщение уничтожается и формируется запрос на его повторную передачу.

Продажа оборудования и лицензии на ПО позволит коммерциализовать проект. Так же возможна продажа прав компаниям производителям оборудования ЭК для последующей реализации.

В таблице 1 представлена смета проекта.

1. Смета проекта

Наименование предполагаемых расходов	Сумма, руб.
Патентные исследования	40 000
Обоснование требований к проектируемой системе	40 000
Разработка прикладного ПО генерации ключей, асимметричного шифрования и расшифрования	100 000
Тестирование разработанного ПО, включая моделирование атак	90 000
Приобретение деталей для сборки аппаратного модуля	8000
Сборка и тестирование аппаратного модуля	52 000
Подготовка научной статьи по результатам работы	50 000
Публикация в научном журнале «Вопросы современной науки и практики»	6000 (979 р. 40 коп. за страницу)
Подготовка пакета документов для регистрации разработанного ПО и оборудования	4000
Затраты на регистрацию разработанного прикладного ПО и оборудования, включая госпошлину	10 000
Итого	400 000

Список литературы

1. Латышенко, К. П. Экологический мониторинг / К. П. Латышенко. – М. : Юрайт, 2016. – 376 с.
2. Tanenbaum, A. Computer Networks / A. Tanenbaum, D. Wetherall. – London : Pearson, 2010. – 960 p.
3. Жданов, О. Н. Эллиптические кривые. Основы теории и криптографические приложения / О. Н. Жданов, В. А. Чалкин. – М. : Либроком, 2012. – 200 с.
4. Feghhi, J. Digital Certificates: Applied Internet Security / J. Feghhi, P. Williams. – Boston : Addison-Wesley Professional, 1998. – 480 p.
5. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы и исходный код на C / Б. Шнайер. – М. : Вильямс, 2016. – 1024 с.

*Кафедра «Информационные системы и защита информации»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*А. М. Желудкова**

ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Благодаря научно-техническому прогрессу человечество совершает множество открытий. Но неизбежным следствием этого является то, что состояние экологии в развитых и развивающихся странах сильно ухудшается, что, в свою очередь, оказывает значительное влияние на людей. Уже в прошлом веке государства и международные организации пытались взять контроль над данной ситуацией. Примером подобной деятельности можно считать Киотский договор, призванный уменьшить выброс парниковых газов в атмосферу.

Для наблюдения используется система экологического мониторинга (ЭМ). При этом соблюдение всех условий Киотского договора несет за собой большие траты на оборудование и крупные штрафы за их нарушение этих условий. В связи с этим, существует большое количество заинтересованных в фальсификации результатов экологического мониторинга [1].

Эта проблема могла бы быть решена путем шифрования данных, передаваемых станциями ЭМ. Но станции находятся на территории отдельных стран, а данные передаются за границу в международные организации. Правительства этих стран вправе требовать передачи ключей шифрования, чтобы исключить возможность передавать разведывательную информацию под видом данных экологического мониторинга. Но в таком случае возникает риск изменения передаваемых данных любым из владельцев ключа шифрования.

Задача обеспечения станций ЭМ средствами защиты информации о состоянии окружающей среды от изменения при одновременной доступности содержания этой информации для всех заинтересованных лиц является весьма актуальной. Эта задача может быть решена методами асимметричного шифрования, известными с 1977 г. [2].

Данные на станции ЭМ будут зашифрованы секретным ключом, а получатель сможет расшифровать их, используя открытый ключ. Благодаря этому будет невозможна модификация данных, передавае-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» В. А. Гриднева.

мых со станций ЭМ, а их содержание останется доступным для всех заинтересованных субъектов.

Для реализации такого шифрования целесообразно использовать метод эллиптических кривых (ЭК). Выбор обусловлен тем, что по сравнению с другими алгоритмами асимметричного шифрования (RSA, Эль-Гамала), требуемая надежность ключа будет обеспечиваться его меньшим размером [3], что обеспечивает высокую скорость криптографических преобразований и сравнительно невысокие требования к аппаратным средствам. Все это позволит использовать алгоритм асимметричного шифрования в условиях технических ограничений станций ЭМ.

Общая идея криптографической защиты данных экологического мониторинга выглядит следующим образом. Допустим, на станции уже заданы параметры уравнения кривой, принятые для системы ЭМ. На станции ЭМ генерируется пара ключей – секретный и открытый. Для удобства, открытый ключ можно передавать вместе с сообщением. Это обеспечивает возможность ознакомления с передаваемой информацией всех заинтересованных субъектов. Закрытый ключ известен только станции ЭМ, что позволяет обеспечить защиту передаваемых данных от модификации.

Станция ЭМ формирует пакет сообщения, включающий измеренные показатели состояния окружающей среды, свой идентификатор ID, метку времени T и шифрует его своим секретным ключом. Затем к зашифрованному сообщению добавляется открытый ключ и контрольная сумма. Контрольная сумма позволяет проверять целостность принятого сообщения без необходимости его расшифрования. Структура передаваемого пакета показана на рис. 1.

Шифрование (секретным ключом)			Открытый ключ	Конт- рольная сумма
Измеренные параметры	ID	T		

Рис. 1. Структура передаваемого пакета

На приемной стороне полученное сообщение проверяется на отсутствие случайных искажений при передаче по каналу связи путем верификации контрольной суммы. В случае отрицательного результата верификации, сообщение отклоняется с возможностью запроса повторной передачи. При успешной верификации контрольной суммы сообщение расшифровывается с помощью открытого ключа. Затем проводится верификация метки времени для исключения атаки типа повтора ранее переданного сообщения. При несовпадении метки вре-

мени сообщение отклоняется, а при успешной верификации принятые данные используются по назначению [4].

Описанная выше идея реализована в разработанном прикладном программном обеспечении (ПО), включающем три автономных модуля: генерации ключей, передающий и приемный.

Организация, отвечающая за обслуживание станции ЭМ, задает на ней параметры ЭК, таких как: модуль; простое число, обозначающее порядок циклической подгруппы группы точек ЭК; коэффициенты уравнения ЭК; координаты базовой точки. На основании этих параметров модуль генерации ключей будет автоматически генерировать пару ключей – секретный (для зашифрования) и открытый (для расшифрования).

Передающий модуль программы на станции ЭМ проводит необходимые криптографические преобразования измеренных данных экологического мониторинга, формирует пакет сообщения, вид которого показан на рис. 1 и отправляет его в международную организацию.

Приемный модуль разработанного ПО содержит те же параметры криптосистемы, что и передающий модуль. В интерфейсе приемного модуля разработанного ПО предусмотрены поля для указания пути к файлу, подлежащему расшифрованию и содержащему открытый ключ для расшифрования.

Приемный модуль разработанного ПО после предварительной обработки принятого пакета сообщения проводит его проверку на предмет случайных искажений путем верификации контрольной суммы. В случае обнаружения ошибок, выполняется автоматический перезапрос передачи пакета. При успешной верификации контрольной суммы принятый пакет передается для дальнейшей обработки.

После расшифрования принятого сообщения приемный модуль ПО проводит верификацию метки времени. Если для расшифрованного сообщения фиксируется несоответствие метки времени, то данное сообщение стирается. Если же верификация метки времени прошла успешно, то принятое сообщение передается для использования по назначению.

Текст принятого сообщения выводится в специальном окне программы, но при необходимости его можно сохранить в виде отдельного файла. Для этого в приемном модуле разработанного ПО предусмотрено указание пути сохранения файла.

Невозможность корректного расшифрования принятого сообщения при соблюдении всех вышеуказанных условий будет однозначно свидетельствовать о его несанкционированной умышленной модификации. В этом случае принятое сообщение уничтожается, и формируется запрос на его повторную передачу.

Так же предусмотрена возможность записи происходящих событий в специальный, защищенный от модификаций журнал. В нем будет храниться информация об ID станций ЭМ, принятых от этих станций сообщениях и обнаруженных в них ошибках.

Окно интерфейса приемного модуля разработанного ПО показано на рис. 2.

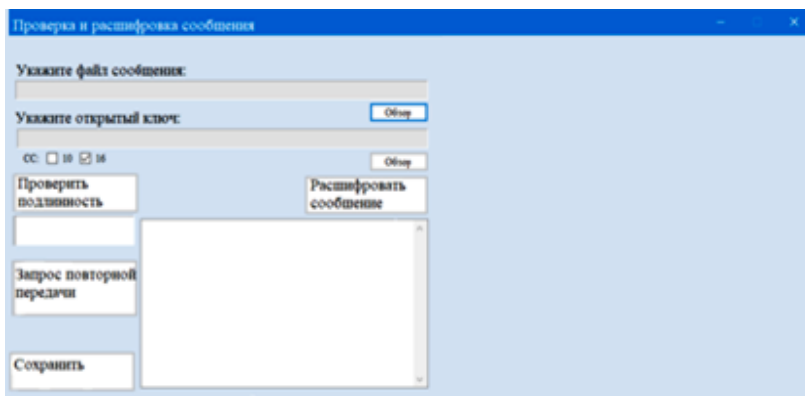


Рис. 2. Интерфейс приемного модуля программного обеспечения

Приведенный вид окна интерфейса не является окончательным, возможна его доработка. В правом поле планируется сделать поля для вывода сообщений об ошибках и перезапросах.

Список литературы

1. Латышенко, К. П. Экологический мониторинг / К. П. Латышенко. – М. : Юрайт, 2016. – 376 с.
2. Жданов, О. Н. Эллиптические кривые. Основы теории и криптографические приложения / О. Н. Жданов, В. А. Чалкин. – М. : Либликом, 2012. – 200 с.
3. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы и исходный код на C / Б. Шнайер. – М. : Вильямс, 2016. – 1024 с.
4. Feghhi, J. Digital Certificates: Applied Internet Security / J. Feghhi, P. Williams. – Boston : Addison-Wesley Professional, 1998. – 480 p.

*Кафедра «Информационные системы и защита информации»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*М. А. Загородников, Д. В. Давыдова**

ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ LTE-СИГНАЛОВ НЕСКОЛЬКИХ ОПЕРАТОРОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Мобильный интернет предоставляет доступ к сети Интернет при перемещении абонентской станции в пределах зоны обслуживания оператора сотовой связи. При этом качество (пропускная способность) сильно зависит от условий распространения LTE-сигнала.

Теоретическим скоростным пределом является 326,4 Мбит/с в нисходящем направлении (от базовой станции к абоненту) и 172,8 Мбит/с – в восходящем (от абонента к базовой станции). Однако теоретическая пропускная способность достижима только в условиях отсутствия нагрузки на базовую станцию оператора связи и помех. В условиях большой нагрузки на базовую станцию оператора сотовой связи и большого удаления от нее пропускная способность падает до 0,8...1,0 Мбит/с, что сравнимо с ее отсутствием [1, 2].

Каким образом увеличить пропускную способность в плохих условиях приема сигнала базовой станции и при передвижении абонента по местности?

Требования к разрабатываемому программно-аппаратному комплексу (далее – Комплекс):

1. Мобильность Пользователя.
2. «Неразрывность» трафика.

Пользователь не должен замечать переключений между операторами связи. При использовании разных операторов мы сталкиваемся с проблемой разного адресного и маршрутного пространств. Пользователь может заметить этот эффект при посещении сайтов с обязательной аутентификацией. Ошибки аутентификации и постоянные re-login.

3. Гарантированная полоса пропускания. Полоса пропускания должна быть не менее 3 Мбит/с. Данной скорости достаточно для работы сервисов реального времени, а нехватку полосы Пользователь заметит только при скачивании больших объемов данных или просмотре видео в разрешении 720 p.

4. Обязательная оценка качества подключения к ресурсам оператора связи. Передача информации по соединению без оценки возмож-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» С. А. Васильева.

ной пропускной способности приводит к потере трафика, и, как следствие, к отказу в обслуживании.

5. Единая система настройки с минимальными параметрами, доступными для Пользователя. Задействовано большое количество протоколов.

6. Исполнение в едином корпусе с возможностью масштабирования до 19” варианта.

Для выполнения требований к комплексу необходимо решить следующие задачи:

- 1) обеспечить «неразрывности» передаваемой информации;
- 2) оценить качество LTE-сигнала операторов связи в конкретных условиях;
- 3) на основе качества сигналов принять решение об операторе связи и пропускной способности, используемой для передачи полезного трафика;
- 4) на основе принятого решения скорректировать настройки элементов комплекса.

Задача 1. Обеспечить «неразрывности» передаваемой информации.

При нахождении Пользователя в зоне доступа одной базовой станции (рис. 1, а, БС № 1) комплексу присваивается IP-адрес из адресного пространства данной базовой станции оператора связи. При перемещении Пользователя из зоны доступа одной базовой станции (рис. 1, а, БС № 1), зону доступа другой базовой станции (рис. 1, а, БС № 2) комплексу присваивается IP-адрес из адресного пространства «новой» базовой станции оператора связи. Изменение адресации комплекса приводит к изменению таблицы маршрутизации, что в свою очередь, приводит к потере информации Пользователя.

Данную задачу можно решить следующими методами:

1) запросить у оператора связи статический IP-адрес для данной SIM-карты. Реализация данного метода требует от оператора связи дополнительных настроек, и эти настройки работоспособны в пределах одного региона или филиала оператора связи. Возможно увеличение абонентской платы за предоставление данной услуги для каждой SIM-карты. Не каждый оператор предоставляет данную услугу;

2) использовать клиент-серверные протоколы, позволяющие перейти в заранее известное адресное пространство и не зависеть от адресного пространства оператора связи. Для реализации данного метода необходимо наличие серверной части со статическим IP-адресом. Данный метод работоспособен в пределах зоны обслуживания оператора связи, а при подключении роуминга, и за ее пределами.

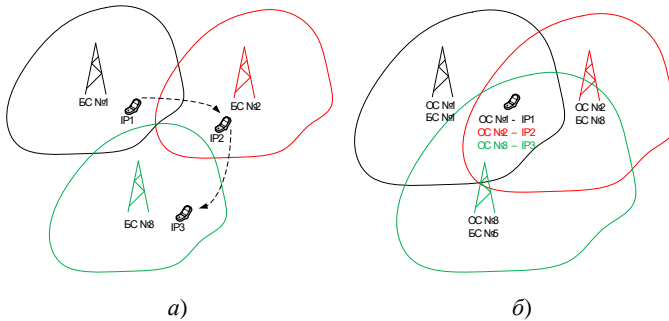


Рис. 1. Адресное пространство:

a – одного оператора при мобильности Пользователя; *б* – разных операторов

При нахождении Пользователя в зонах доступа базовых станций трех разных операторов связи (рис. 1, *б*) комплексу присваиваются IP-адреса из адресных пространств этих базовых станций операторов связи. При использовании нескольких операторов передача информации осуществляется только по одному оператору, так как в соответствии с рекомендациями ITU-T RFC 1009 задан маршрут по умолчанию. Для использования ресурсов всех операторов необходимо агрегировать или резервировать пропускную способность операторов связи.

Учитывая, что возможность агрегации и резервирования трафика реализована в решении на основе клиент-серверных протоколов, целесообразно решение поставленной задачи осуществить с их использованием.

Задача 2. Оценить качество LTE-сигнала операторов связи в конкретных условиях.

При нахождении абонентской станции на различном удалении от базовой станции различается и скорость передачи данных по радиointерфейсу. Необходимо оценить возможную пропускную способность в конкретных условиях. В статье [3] отражено влияние на пропускную способность частотного, число поднесущих и количество ресурсных блоков, определяемых частотным спектром; способа модуляции поднесущих и метода помехоустойчивого кодирования. При этом в теоретическом расчете пропускной способности не отброшены служебные каналы управления, доля которых может достигать до 30% (в дальнейших расчетах будем учитывать долю служебных каналов управления равной 50%).

Для определения критериев изменения пропускной способности в канале LTE предлагается использовать расчетные скорости передачи данных в нисходящем канале при высокой нагрузке на сеть, при этом

необходимо провести перерасчет с учетом служебных каналов управления. При этом необходимо рассмотреть методы и способы получения информации для расчета пропускной способности в конкретных условиях. Для получения информации от LTE-модемов комплекса будем использовать набор AT-команд.

Для мониторинга состояния соединения и получения данных от чипа применяются следующие команды:

– AT + CSQ – команда показывает индикатор RSSI. Индикатор RSSI в данной команде представлен в условных единицах.

Для значений RSSI, полученного данной командой, в рекомендациях [3GPP TS 27.007] используется следующая зависимость:

0...113 dBm или меньше

1...111 dBm

2...30 – 109...–53 dBm

31...51 dBm или больше.

Математически данную зависимость можно описать формулой

$$RSSI_{dBm} = -113 + RSSI_{num} \cdot 2;$$

– AT^SMONI – команда предоставляет дополнительную информацию по качеству соединения с обслуживающей базовой станцией.

Данных, полученных с использованием AT-команд, недостаточно для расчета пропускной способности канала. Для этого необходимо выявить зависимость данных из AT-команд с реальной пропускной способностью, что в дальнейшем даст нам возможность интерполировать их и принять решение о качестве соединения в конкретных условиях.

Список литературы

1. RFC2637 Point-to-Point Tunneling Protocol. 1999. «Point-to-Point Tunneling Protocol». – Accessed December 31, 1999. <https://tools.ietf.org/html/rfc2637>
2. RFC2661 Layer Two Tunneling Protocol «L2TP». 1999. «Layer Two Tunneling Protocol «L2TP»». – Accessed August 1, 1999. <https://tools.ietf.org/html/rfc2661>
3. Дроздова, В. Г. Оценка пропускной способности сетей LTE / В. Г. Дроздова, М. А. Белов // Мобильные телекоммуникации. – 2012. – № 5. – С. 20 – 22.

Кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» ФГБОУ ВО «ЛГТУ»

УДК 67.05

*В. А. Парсков**

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Одной из распространенных групп оборудования в металлообрабатывающей промышленности являются расточные станки. Эта группа станков широко используется как в условиях индивидуального, так и в условиях крупносерийного производства. Отличительной особенностью, по которой расточные станки выделяются в отдельную группу, является возможность выполнения металлорежущих операций в труднодоступных местах обрабатываемых деталей.

Основной отличительной особенностью горизонтально-расточного станка является горизонтальное расположение шпинделя. Этот тип станка несколько напоминает обычный токарно-винторезный станок, но в горизонтально-расточном станке имеется несколько ключевых отличий. Во-первых, отсутствует задняя бабка. Вместо задней бабки установлен подвижный люнет. Во-вторых, планшайба, которой оборудован шпиндель, имеет возможность смещать резец относительно оси вращения, что не характерно для токарного станка. В-третьих, здесь имеется стол, на котором может быть закреплена деталь [1].

Следует отметить, что какое бы совершенное станочное оборудование не выпускалось, операции по его регулировке, настройке и контролю за технологическими параметрами будут присутствовать всегда. Это связано и с износом рабочих органов, и с различием технологий изготовления деталей [2].

В работе рассмотрены вопросы разработки информационно-логической модели (ИЛМ) поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания и наладки горизонтально-расточных станков перед началом и в ходе выполнения технологических операций.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ПГТУ» В. А. Немтинова.

В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил. Отдельное продукционное правило, состоящее из элементарных предложений, соединенных логическими связками, содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей: условной, «и», «или», и заключения, включающего в себя одно или несколько предложений, выражающих либо некоторый факт, либо указание на определенное действие, подлежащее исполнению.

Таким образом, ИЛМ может быть представлена следующим кортежем:

$$M = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_N, p_1, \dots, p_j, \dots, p_S),$$

где M – оператор ИЛМ; d_1, \dots, d_N – множество данных ИЛМ; p_1, \dots, p_S – множество правил.

В свою очередь, правила, входящие в модель, построены по типу: если... «условия выполняются», то ... «реализация следствия».

Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по формированию перечня мероприятий технологического обслуживания горизонтально-расточных станков перед началом и в ходе выполнения технологических операций.

Ниже приведен пример правил применительно к горизонтально-расточным станкам на примере 2620А (рис. 1).

а) Правила выбора мероприятий при устранении брака при работе на горизонтально-расточном станке 2620А:

– если «брак при растачивании отверстий» = «часть поверхности отверстия осталась необработанной», то «неверные размеры заготовки» = «осматривать заготовку и проверять сомнительные размеры»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «часть поверхности отверстия осталась необработанной», то «неправильная установка заготовки» = «проверить правильность установки заготовки»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «размеры расточенной поверхности неверны, т.е. диаметр меньше нужного», то «неточная установка резца на глубину резания» = «проверить глубину резания и повторно расточить до нужного диаметра»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилось овальным», то «биение шпинделя» = «замена подшипников и шеек»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «обработанная поверхность получилась нечистой», то «большая подача резца» = «проверить правильность выбора подачи, провести чистовую обработку» [3];

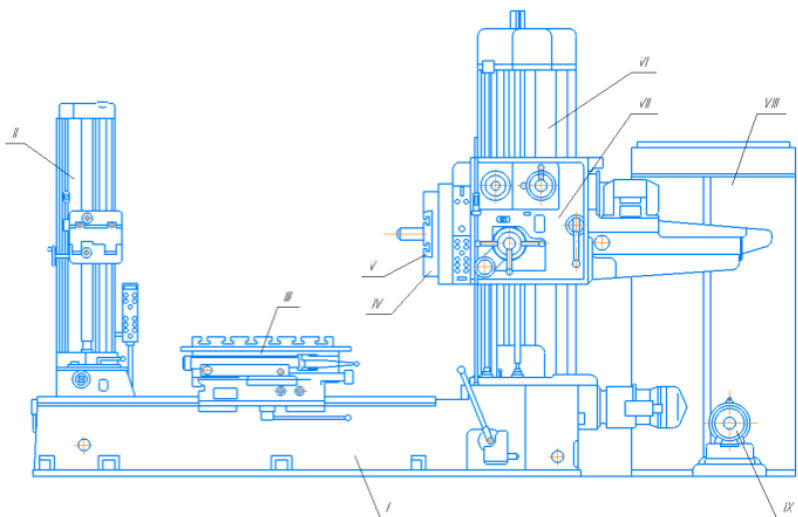


Рис. 1. Основные узлы горизонтально-расточного станка модели 2620А:

- I – станина; II – задняя стойка; III – стол; IV – планшайба;
- V – радиальный суппорт; VI – передняя стойка; VII – шпиндельная бабка;
- VIII – шкаф с электрооборудованием; IX – электромашинный агрегат

б) Правила выбора мероприятий при неисправности шпинделя на горизонтально расточном станке 2620А:

- если «неисправность шпинделя» = «повышенное радиальное биение», то «изогнутость рабочего вала» = «правка вала шпинделя»;
- если «неисправность шпинделя» = «повышенное радиальное биение», то «недостаточная затяжка подшипников, зазоры» = «регулировка подшипников, подтяжка гайки затяжки подшипников»;
- если «неисправность шпинделя» = «шум в верхнем подшипнике», то «диагностика подшипника» = «промывка подшипника от грязи с заменой смазки или замена подшипника»;

в) Правила мероприятий при разных неисправностях:

- если «неисправность станка» = «станок не запускается», то «падение или отсутствие напряжения питающей сети» = «проверить наличие и величину напряжения в сети»;
- если «неисправность станка» = «произвольное отключение электродвигателя во время работы», то «недостаточное натяжение ремней» = «увеличить натяжение ремней»;

- если «неисправность станка» = «не вращается диск маслоукладателя», то «нет масла в системе» = «залить масло»;
- если «неисправность станка» = «насос охлаждения не работает», то «недостаток жидкости» = «долить жидкость»;
- если «неисправность станка» = «станок вибрирует», то «износ стыка направляющих суппорта» = «подтянуть прижимные планки и клинья»;
- если «неисправность станка» = «усилие подачи суппорта меньше указанного в руководстве», то «недостаточно затянута пружина перегрузочного устройства» = «подтянуть пружину».

В результате проведенных исследований разработана информационно-логическая модель поддержки принятий решений при проведении обслуживания горизонтально-расточного оборудования. Ее апробация, выполненная при обслуживании горизонтально-расточных станков, способствовала повышению эффективности производства: высокому качеству готовой детали, уменьшению брака до 5%; увеличению сменной производительности на 15...17%; сокращению простоев по техническим причинам до 10% [4].

Список литературы

1. Ларионов, С. Г. *Металлорежущие станки : учебное пособие* / С. Г. Ларионов // КГТУ. – 2006. – С. 50 – 52.
2. Ситников, А. «Слабые места» отечественных токарных станков / А. Ситников // Equipnet.ru. – URL : https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_411.html (дата обращения: 20.09.2020).
3. Информационная поддержка принятия решений при проведении технологического обслуживания токарных станков / В. А. Немтинов, В. Ю. Бобылев, Ю. В. Немтинова, А. Б. Борисенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 220 – 229. doi: 10.17277/vestnik.2020.02.pp.220-229

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*В. О. Нистратов, И. С. Степанов**

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ

Современная высшая школа предлагает будущим студентам разнообразные формы получения знаний: очное и заочное обучение, дистанционное и ускоренное образование, программы повышения квалификации и переподготовки специалистов.

Дистанционную форму обучения специалисты по стратегическим проблемам образования называют образовательной системой XXI в. [1]. В настоящее время развитие дистанционного образования по инженерным направлениям встречает определенные трудности из-за отсутствия возможности полноценной организации лабораторного практикума. Это объясняется проживанием некоторых студентов в отдаленных регионах, сложным графиком их работы. Так, одной из важнейших задач проекта является возможность интеграции людей с ограниченными возможностями учебного процесса.

С учетом вышеуказанных проблем предлагается проект лабораторного комплекса с удаленным доступом пользователей.

Цель проекта – разработка образовательного лабораторного комплекса, обеспечивающего возможность дистанционного выполнения лабораторных работ студентами на реальном оборудовании, а также системы интеллектуальной оценки знаний на основании результатов выполнения лабораторного практикума.

Задачи, решаемые проектом:

1. *Образовательная.* Используется современный инженерный подход в решении педагогических задач, в частности, дистанционное выполнение лабораторных работ с полным визуальным контролем, тактильным и голосовым управлением лабораторным оборудованием.

На лабораторном сервере комплекса размещаются электронные аналоги учебно-методических печатных изданий, необходимые для освоения лекционного курса, выполнения лабораторных и самостоятельных работ. Разрабатываемый комплекс позволяет осуществлять проведение консультаций и лекций преподавателями в режиме удаленного доступа on-line.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, зав. кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Н. Г. Чернышова.

2. *Социальная.* Особенно стоит отметить современное направление деятельности государства по реабилитации людей с ограниченными возможностями, их интеграцию в современную жизнь, включая и процесс образования.

Для решения этого создаются такие программы, как «Доступная среда» [2]. С учетом этого лабораторный комплекс с удаленным доступом решает важные социальные проблемы. Благодаря данному комплексу достойное образование смогут получить студенты с инвалидностью или люди, которые по состоянию здоровья не могут лично присутствовать в учебной аудитории.

3. *Профориентационная.* Лабораторный комплекс с удаленным доступом позволяет поднять профориентационную работу на качественно иной уровень, привлекая школьников к работе с лабораторным оборудованием университета посредством удаленного доступа с использованием сети Интернет.

4. *Экономическая.* Данный комплекс снижает затраты на обучение, связанные с транспортными расходами университета и студентов, а в сравнении с аналогами имеет существенно более низкую стоимость и гибкую конфигурацию.

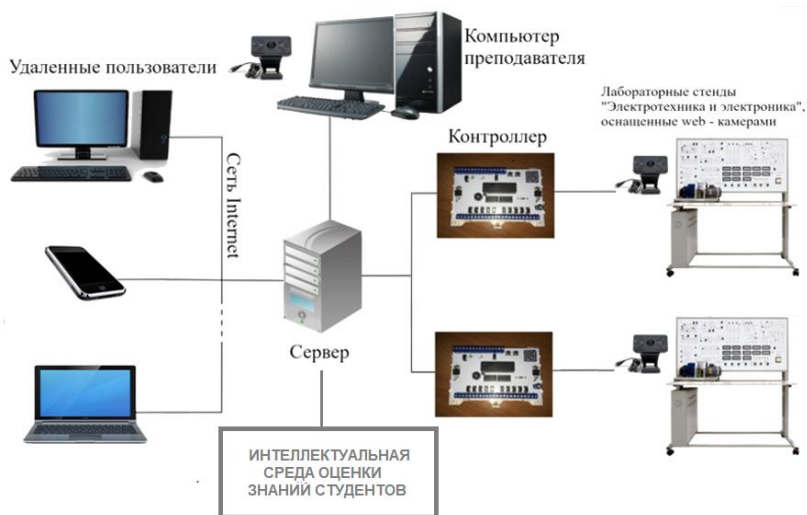


Рис. 1. Структурная схема лабораторного комплекса

В состав комплекса (рис. 1) входят: персональный компьютер (сервер), управляющий контроллер, подключенный к серверу через

USB-порт, лабораторные установки, подключенные к контроллеру, web-камеры, подключаемые к серверу, компьютер преподавателя, который может контролировать режимы стендов и действия студентов. Контроллер (рис. 2), на котором основан комплекс (рис. 1), имеет систему резервированного питания, возможность подключения различных датчиков, а также защиту входных и выходных цепей (гальваническая развязка и модули дарлингтона) от статических разрядов, перегрузок и коротких замыканий.

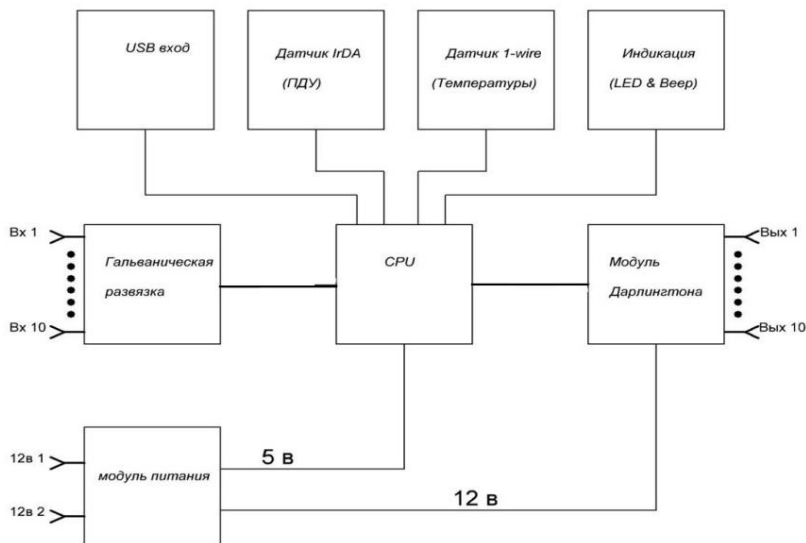


Рис. 2. Структурная схема контроллера

Принцип действия контроллера заключается в изменении состояния выходов в зависимости от входных команд, поступающих от компьютера, сети Интернет или от пульта дистанционного управления. Программное обеспечение, устанавливаемое на сервере, совместно с контроллером обеспечивает решение задач управления лабораторным оборудованием.

Комплекс имеет возможность голосового управления лабораторным оборудованием, использует современные технологии и алгоритмы распознавания и синтеза человеческой речи, что позволяет людям с ограниченными возможностями прилагать минимум физических усилий в работе с лабораторным оборудованием. Пользователь имеет

непосредственный визуальный контакт со стендом посредством web-камеры, а трансляция работы установки в режиме on-line максимально приближает студента к реальной рабочей обстановке.

Возможность интеграции на сервере функций управления лабораторным оборудованием, учебно-методического материала, возможностей проведения консультаций и лекций преподавателем в режиме on-line, создание наглядного цифрового отчета о выполненной работе, наличие подсистемы контроля знаний делает этот лабораторный комплекс полезным как для студентов, так и для преподавателей.

На данном этапе проекта разработан прототип контроллера и программного обеспечения, а также обобщенный алгоритм работы образовательного лабораторного комплекса с удаленным доступом (рис. 2, 3).

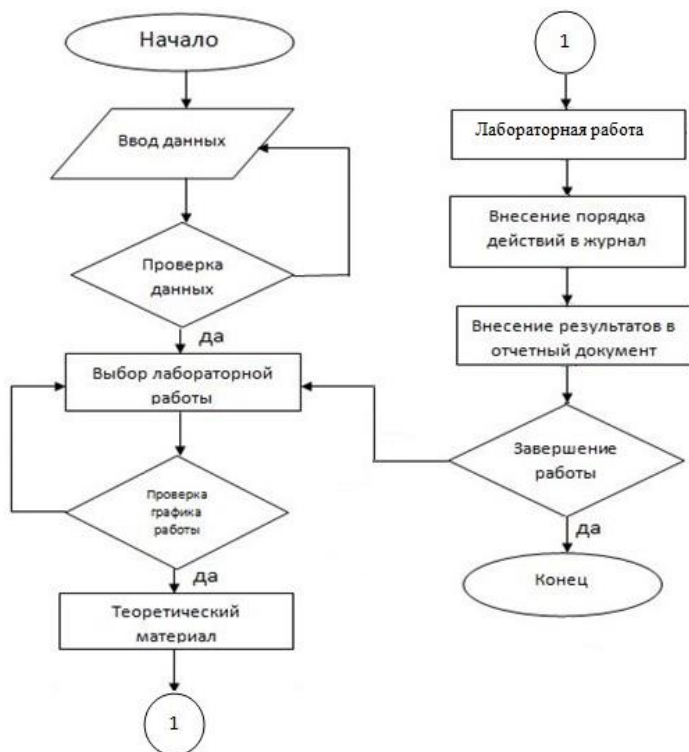


Рис. 3. Алгоритм работы лабораторного комплекса

Развивая данный проект, можно повысить качество инженерного образования для студентов дистанционной и заочной формы обучения, людей с ограниченными возможностями, снизить расходы на проведение курсов повышения квалификации, проводить профориентационные мероприятия в интересной и познавательной форме для школьников. Так же лабораторный комплекс может быть с успехом использован для научно-исследовательской работы магистрантов и аспирантов, так как гибкая структура комплекса позволяет с минимальными затратами интегрировать новые технические средства.

Список литературы

1. Маслов, С. И. Информатизация инженерного образования. [Электронный ресурс] / С. И. Маслов. – М., 2006. – URL : http://mami.ru/science/aai77/scientific/article/s14/s14_11.pdf (дата обращения: 01.10.16).

2. Государственная программа Российской Федерации «Доступная среда» на 2016 – 2020 годы [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.rosmintrud.ru/ministry/programms/3/0> (дата обращения: 30.09.20).

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных
и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 661.183

*Р. Э. Алиев, А. А. Попова**

**КОМПАКТИРОВАННЫЙ НАНОПОРИСТЫЙ
УГЛЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ
ДЛЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА**

Инновационные материалы и технологии – словосочетания, наиболее часто используемые применительно к углеродным наноматериалам (УНМ) различной морфологии и структуры, к которым можно отнести нанотрубки, графен, нанопористый углерод. Это объясняется прежде всего тем, что их свойства оказывают непосредственное влияние на конечный продукт. При этом, для целого ряда применений, наилучшие эксплуатационные характеристики достигаются при максимально возможных значениях параметров удельной поверхности и пористости. Наиболее перспективными в этом направлении можно считать синтезированные углеродные сорбенты, обладающие развитой системой микропор и применяемые в технологических процессах, таких как разделение, выделение и концентрирование различных газовых сред.

Несколько лет назад от Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) поступило предупреждение о том, что в большом количестве крупных городов с развитой промышленностью загрязнение воздуха достигло критического уровня, что может оказать существенное отрицательное влияние на здоровье людей. Эксперты считают, что такая ситуация может стать причиной ранней смертности населения Земли и приведет к тому, что будут затрачены большие финансовые средства для лечения хронических заболеваний людей. В связи с этим необходимым является разработка недорогого и эффективного материала для очистки воздуха.

В научно-исследовательском проекте планируется разработать инновационный компактированный углеродный материал, который будет характеризоваться улучшенными физико-химическими и физи-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. Н. Шубина.

ко-механическими характеристиками по сравнению с аналогами. Главным его преимуществом станет увеличенная сорбционная способность и селективность, что позволит в разы увеличить эффективность сорбции и сократить время процесса.

Целью работы является разработка компактированного нанопористого углеродного материала для высокоэффективной очистки воздуха. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- выявить уровень развития науки и техники в области систем очистки и подготовки воздуха;
- определить оптимальный состав и количество углеродного наноматериала в составе разрабатываемого компактированного углеродного материала;
- определить вид и оптимальное количество связующего материала в составе компактированного углеродного материала;
- провести исследования физико-механических и физико-химических характеристик полученных компактированных углеродных материалов;
- построить математические модели для описания процесса кинетики сорбции/десорбции в разработанных компактированных углеродных материалах на основе различных рецептур состава и технологий их производства;
- разработать промышленно реализуемую технологию получения компактированных углеродных материалов на основе наноматериала;
- оценить экономическую эффективность создания компактированных углеродных материалов.

Разрабатываемый в рамках данной работы материал предполагается использовать в следующих областях:

- 1) в медицине – в качестве компонента средств индивидуальной защиты органов дыхания, в комплексных системах воздухоподготовки для чистых зон, помещений производств;
- 2) в химической и нефтегазовой промышленности – в качестве высокоэффективного фильтрующего элемента (сорбента) в промышленных системах очистки газовых сред;
- 3) в высокотехнологичных товарах бытового и повседневного использования в качестве фильтрующего элемента воздуха в домашних кондиционерах и рекуператорах, автомобилях и т.д.

Выполнение работ предполагается разбить на несколько этапов, в рамках которых планируется выполнить весь необходимый объем НИР и ОКР. На сегодняшний момент уже имеется весомый задел в виде проведенных исследований и полученных результатов по отработке

отдельных технологических режимов и параметров, характеризации физико-механических физико-химических свойств полученных нанопористых углеродных материалов, определяющих основные характеристики готового продукта, что позволяет говорить о возможности достижимости поставленных задач и получении результатов, которые позволят качественным образом применять разрабатываемый компактированный материал в системах очистки воздуха. Уточнение и дополнение проведенных исследований будет являться первым этапом выполнения проекта.

На втором этапе планируется провести отработку аппаратурно-технологического и диагностического оформления процесса получения компактированного нанопористого углеродного сорбента, позволяющего осуществить переход к опытно-промышленному производству. Окончательная оценка эффективности полученного нанопористого углеродного материала будет оцениваться по результатам экспериментальных исследований фактической емкости (сорбции/десорбции) реальных газов на действующих прототипах. На этом же этапе планируется проведение исследований по оптимизации торговых промышленных форм полученного материала с помощью 3D-макетирования.

Мероприятия по защите интеллектуальной собственности, являясь важнейшим этапом выполнения научных работ, подтверждающих их актуальность, научную новизну и высокий уровень исследований, будут проводиться на третьем этапе выполнения проекта. Существенными отличительными признаками предлагаемых в проекте решений, обеспечивающих ожидаемый научно-технический результат данного проекта и соответственно подлежащих патентной защите будут:

- а) состав компактированного нанопористого углеродного материала;
- б) технология получения компактированного нанопористого углеродного материала;
- в) отдельные элементы аппаратурно-технологического оформления процесса получения компактированного нанопористого углеродного материала.

На всех этапах выполнения проекта планируется оформление промежуточных отчетов по результатам выполненной работы, а также актов и протоколов испытаний. Поэтапное выполнение работы будет проводиться в соответствии с полученными результатами предыдущих этапов с соответствующими корректировками. Планируется участие в конференциях, конкурсах и выставках различного уровня. Немаловажное значение приобретают научные консультации с предприятиями,

для которых необходимо проводить мероприятия по очистке воздуха с возможностью применения в их технологиях компактированного сорбирующего материала.

В качестве первоначального этапа планируется реализация проекта на территории Тамбовской области. Общая экологическая ситуация в Тамбове благоприятная, но несмотря на это на территории города планируется протестировать разрабатываемый углеродный материал на одном из предприятий города в целях дальнейшего внедрения в другие регионы страны, в которых наблюдается сложная экологическая обстановка. К таким регионам относятся крупные города и промышленные центры, включая города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита.

Реализация представленного проекта позволит интегрировать достижения из области нанотехнологий в систему очистки воздуха, что обеспечит формирование фундаментальных основ развития принципиально новых технологий для отечественного производителя.

Список литературы

1. Попова, А. А. Анализ влияния свойств нанодисперсных систем на конструкции технологического оборудования / А. А. Попова, И. Н. Шубин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 7 (724). DOI 10.18698/0536-1044-2020-7.
2. Технология функционализации углеродных нанотрубок / Р. Э. Алиев, А. А. Попова и др. // Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение : материалы III Междунар. науч.-практ. конф.: 13 – 15 ноября 2019 ; под общ. ред. оргкомитета. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2019. – С. 70–71.
3. Шубин, И. Н. Химическая и термическая активации для увеличения пористости углеродного сорбирующего материала: эффективность и экологичность процесса / И. Н. Шубин, А. А. Попова // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы XI Междунар. науч.-инновационной молодежной конф. ; под общ. ред. оргкомитета. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2019. – С. 202 – 205.
4. Пат. № 2620404 РФ, С01В 31/08. Способ получения мезопористого углерода / Ткачев А. Г., Мележик А. В., Соломахо Г. В. ; заявл. 26.01.2016 ; опубл. 25.05.2017.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*С. Н. Аникин**

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКОГО СКАНАТОРА

Лазерная обработка различных материалов с использованием гальванометрических сканирующих систем является неотъемлемой частью будущего производства в различных отраслях промышленности, поскольку она позволяет заменять традиционные механические процессы (сварка, резка, гравировка, сверление, текстурирование и маркировка) их лазерными аналогами [1, 2]. Продолжается рост спроса на лазеры в секторах медицинских диагностических и терапевтических аппаратов, аэрокосмической и оборонной техники. Емкость рынка лазерных технологий по годам составляет (по данным Strategies Unlimited и www.marketresearchfuture.com): 2016/2017 гг. – 13,07 млрд долл.; 2018 г. – 13,76 млрд долл.; 2019 г. – 14,6 млрд долл.; прогнозируемая к 2023 г. – 18 млрд долл.

Лазерная маркировка – достаточно молодая технология, которая с каждым годом используется во все большем числе отраслей народного хозяйства. К преимуществам лазерной маркировки относятся долговечность, гибкость и снижение эксплуатационных расходов. Лазерная маркировка позволяет четко маркировать изделия различной формы даже с изогнутыми или фигурными поверхностями.

Основные направления машиностроительного производства (общее, тяжелое, среднее, точное, производство изделий и заготовок), используют методы маркировки изделий уникальными идентификационными метками. Производители упаковки – для изготовления долговечных, четко определенных и сильно контрастирующих поверхностных надписей на самых разнообразных материалах, начиная от стекла, керамики, дерева, пластмасс, а также металлов. Автомобильный, бумажный, медицинский, пищевой и военный секторы – изготовление штрих-кодов для идентификации продукта, защитных элементов, отслеживания и сериализации, аутентификации фирменных продуктов, персонализация рекламных товаров с логотипами или названиями. Промышленный дизайн – создание логотипов. Архитектура, строительство и электроэнергетика – обработка различных материалов от

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» Д. В. Никитина.

микро- до макромасштаба сверхбольших (малых) поверхностей произвольной формы, лазерная маркировка кабелей.

С каждым годом увеличивается количество микрообработок в различных секторах промышленности: маркировка уникального идентификатора, штрих-кодов, обеспечения идентификации продукции и безопасности (ID-карт), различных документов и ценных бумаг, а также других кодирований.

Вместе с тем существующие конструкции гальванометрических сканирующих систем имеют ряд недостатков:

1. Низкий диапазон обрабатываемой поверхности из-за конструктивных особенностей F-тета объективов.

2. Для изменения расстояния маркировки необходимо осуществить замену объектива и провести корректировку фокусного расстояния.

3. Использование одного источника лазера.

4. Низкая скорость обработки.

5. Нестабильность мощности луча.

6. Продолжительность юстировки зеркал.

7. Изменение мощности при движении в момент гравировки: чем дальше от лазера, тем мощнее должен быть поток лазера, что отрицательно сказывается на ресурсе лазера и зеркал.

8. Использование кареток, элементов скольжения, колес, длинных ремней, которые со временем изнашиваются и растягиваются.

Анализ патентной информации показал, что известные отечественные и зарубежные изобретения направлены на модернизацию источников лазерного излучения, совершенствование элементов крепления зеркал, механизмов поворота зеркал, фокусировки лазерного луча, улучшение стабильности сервосистем, стабилизацию мощности лазера от скорости позиционирования.

Для устранения указанных недостатков разработан универсальный гальванометрический сканатор (рис. 1), характеризующийся увеличенным диапазоном сканирования (увеличивается площадь обрабатываемой поверхности), возможностью использования различных источников лазера (СО₂, диодный, волоконный), а также низкой стоимостью по сравнению с зарубежными аналогами.

В предлагаемом универсальном гальванометрическом сканаторе сконструирован модуль динамической фокусировки, позволяющий пользователю выполнять задачи промышленной лазерной обработки на плоском поле и в объеме, а также расширить диапазон площади обрабатываемой поверхности.

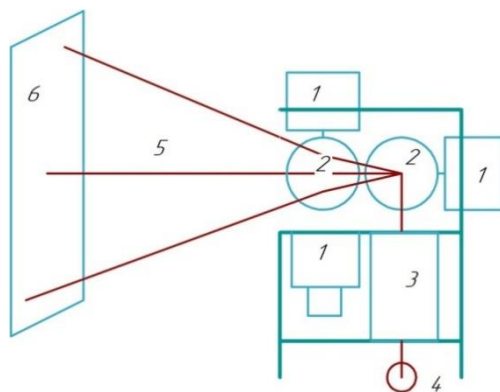


Рис. 1. Принципиальная схема универсального гальванометрического сканатора:

1 – шаговые моторы; 2 – зеркала; 3 – оптически блок;
4 – источник лазерного луча; 5 – лазер; 6 – поверхность гравировки

Основными преимуществами предлагаемого универсального гальванометрического сканатора являются:

1) Динамическая регулировка фокусного расстояния, как следствие, увеличенный диапазон сканирования (диапазон обрабатываемой площади поверхности);

2) Универсальность – возможность использования предлагаемого гальванометрического сканатора для различных источников лазера (CO₂, диодный, волоконный);

3) Использование полярной системы позиционирования, позволяющей упростить конструкцию (нет необходимости использовать направляющие рейки), повысить скорость обработки (за счет отсутствия инертности каретки), обеспечить постоянство мощности луча (соответственно качество обработки);

4) Простота конструкции – состоит из доступных промышленных элементов;

5) Низкая стоимость и легкость изготовления компонентов, корпуса и рамы;

6) Высокая производительность благодаря 32-битному процессору;

7) Модульность системы с возможностью подключения новых компонентов и модулей;

8) Автономная работа по G-коду без ПК;

9) Современные драйверы моторов, обеспечивающие интерполяцию шагов двигателя 1/256 и тихое движение;

10) Открытый код, дает возможность последующего улучшения кода и расширения функционала.

На рисунке 2 иллюстрируется 3D-модель разработанного гальванометрического сканатора.

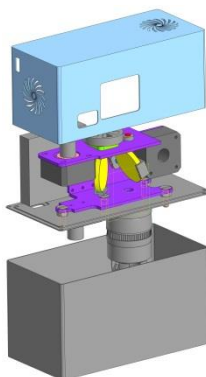


Рис. 2. 3D-модель универсального гальванометрического сканатора

Предлагаемое устройство предположительно прочно закрепит свои позиции в отраслях народного хозяйства, использующих методы маркировки изделий уникальными идентификационными метками: электроэнергетика, черная металлургия, цветная металлургия, химическая и нефтехимическая промышленность, машиностроение и металлообработка, промышленность строительных материалов, стекольная и фарфоро-фаянсовая промышленность, медицинская промышленность, полиграфическая промышленность

Список литературы

1. Вершинин, М. Н. Лазерные технологии в сельском хозяйстве / М. Н. Вершинин, С. И. Юран // Научные инновации в развитии отраслей АПК : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. В 3-х т. – 2020. – С. 101 – 105.
2. Князева, Н. Ю. Использование лазерных технологий при изготовлении деталей в машиностроении / Н. Ю. Князева, Н. Р. Назаров, Н. В. Аринушкина // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 728 – 733.

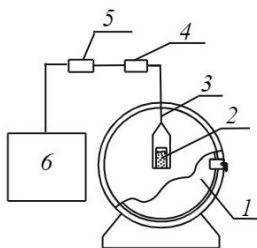
Кафедра «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*Д. Ю. Балашов**

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ СУСПЕНЗИИ НАНОГРАФИТА

Введение. Одним из перспективных методов получения графеновых структур является электрохимическая эксфолиация графита как способ легкого, быстрого и экологически чистого производства искомого продукта [1 – 4]. При получении нанографита этим способом концентрация наноматериалов в суспензии составляет 2...4%. Несмотря на достоинства вышеупомянутого материала, он не удобен в транспортировке (в силу низкой концентрации целевого продукта) и требует дополнительной обработки для повышения концентрации целевого продукта в суспензии. Была поставлена цель удалить растворитель из суспензии нанографита с возможностью восстановления суспензии с максимально приближенными к первоначальным характеристиками. Для достижения поставленной цели была разработана схема сушильной установки и представлен проект дальнейших исследований.

Результаты исследований. Была разработана лабораторная установка, схема представлена на рис. 1. Установка состоит из сушильного шкафа марки WS983 (1), помещенного в сушильный шкаф подвеса (2) с подключенным к нему тензодатчиком (3). Далее следует микроконтроллер Arduino Uno (4) и ПК, где происходит обработка информации программой Terminal v1.9b.



**Рис. 1. Схема установки удаления растворителя
из суспензии нанографита:**

1 – сушильный шкаф; 2 – бокс с суспензией нанографита; 3 – подвес;
4 – тензодатчик; 5 – микроконтроллер; 6 – ПК

* Работа выполнена под руководством канд. хим. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Ю. Осетрова.

Предложенная установка работает следующим образом. Включают сушильный шкаф. После достижения заданной температуры (перед каждым испытанием) установку калибруем: устанавливаем на подвес гирю весом 100 г, ждем стабилизации показаний 20...30 с и калибруем. Взвешиваем сухие чистые бюксы, не встряхивая емкость, наливаем 40 г суспензии нанографита. Помещаем бюкс на подвес в сушильный шкаф, предварительно разогретый до заданной температуры. В ПК в программе Terminal v1.9b происходит обработка полученной информации, и мы получаем данные по изменению массы суспензии нанографита во времени (результаты приведены в табл. 1 – 4).

1. Изменение массы суспензии нанографита во времени, $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$

№ измерений	Время измерений, с	Вес, грамм
1	100	37,5
2	110	37,6
3	120	37,6
...
6289	158 380	1,4
6290	158 390	1,3
6291	158 400	1,2

При температуре $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ цикл сушки длился 44 ч.

2. Изменение массы суспензии нанографита во времени, $T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$

№ измерений	Время измерений, с	Вес, грамм
1	100	40,9
2	110	40,9
3	120	41,1
...
6289	93 690	1,4
6290	93 680	1,3
6291	93 670	1,2

При температуре $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ цикл сушки длился 26 ч.

3. Изменение массы суспензии наногرافита во времени, $T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$

№ измерений	Время измерений, с	Вес, грамм
1	110	41,9
2	120	41,9
3	130	41,8
...
6289	62 890	1,4
6290	62 900	1,3
6291	62 910	1,2

При температуре $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ цикл сушки длился 17 ч.

4. Изменение массы суспензии наногرافита во времени, $T = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$

№ измерений	Время измерений, с	Вес, грамм
1	100	43,9
2	110	43,8
3	120	43,7
...
6289	21 610	1,4
6290	21 600	1,3
6291	21 590	1,2

При температуре $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ цикл сушки длился 6 ч.

В ходе работы определялись массопотери суспензии наногرافита через равные промежутки времени обезвоживания (масса определялась каждые 10 с). Эксперименты разбивались на отдельные циклы, в каждом из которых сохранялось постоянство всех условий при изменении лишь одного параметра – температуры, влияние которого на процесс изучали в данном случае.

Выводы. Разработанная установка сушки суспензии графита позволяет проверить результаты теоретических исследований, выбрать оптимальный режим удаления растворителя.

Предварительный анализ полученных данных позволяет оценить некоторые характеристики этого процесса, например такие, как скорость удаления растворителя из суспензии графита: режим 45 °С является неудовлетворительным по энергоэффективности и затратам времени, так как занял 44 часа, режим 105 °С предположительно привел к коагуляции слоев графита.

Следующим этапом работы будет оценка коллоидной устойчивости суспензии графита при разных режимах удаления растворителя, оценка эффективности режимов восстановления обезвоженной суспензии и возможность восстановления первоначальных параметров, будет изучена кинетика обезвоживания суспензии графита.

Список литературы

1. Бакунин, Е. С. Современные способы получения малослойных графеновых структур методом электрохимической эксфолиации графита / Е. С. Бакунин, Е. Ю. Образцова, А. В. Рухов // Перспективные материалы. – 2018. – № 7. – С. 5 – 15. doi:10.30791/1028-978X-2018-7-5-15

2. Fabrication of Uniform Si-Incorporated SnO₂ Nanoparticles on Graphene Sheets as Advanced Anode for Li-Ion Batteries / X. Liang et al. // Applied Surface Science. – In progress (15 May 2019). – V. 476. – P. 28 – 35. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.12.288

3. Enhanced Electrochemical Performance at High Temperature of Cobalt Oxide / Reduced Graphene Oxide Nanocomposites and its Application in Lithium-Ion Batteries / Y. Mussa et al. // Scientific Reports. – 2019. – V. 9, № 44. – P. 76 – 83.

4. Graphene Oxide/Cobalt-Based Nanohybrid Electrodes for Robust Hydrogen Generation / F. Navarro-Pardo et al. // Applied Catalysis B: Environmental. – In progress (15 May 2019). – V. 245. – P. 167 – 176. doi:10.1016/j.apcatb.2018.12.041

Кафедра «Химия и химическая технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*В. Ю. Бобылев**

ВИДЫ БРАКА ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ

Причинами брака при листовой штамповке могут являться:

- дефекты исходного материала;
- недостаточная технологичность детали;
- несовершенство конструкций штампов или их неправильная эксплуатация;
- неправильно разработанный технологический процесс;
- отступление от технологического процесса;
- нарушение правил транспортировки и хранения полуфабрикатов или деталей.

Некачественный исходный материал ведет к появлению таких дефектов, как разрыв или разрушение штампуемых деталей при формоизменяющих операциях (рис. 1). Причины появления дефекта на деталях:

- низкая пластичность материала;
- отклонение по структуре и зернистости;
- неодинаковые механические свойства металла в разных местах
- внутренние дефекты (трещины, расслоения) и др.

Наличие площадки текучести в кривой упрочнения деформируемого металла может привести к потере устойчивости при вытяжке. В связи с этим на поверхности детали могут появляться полосы скольжения или шероховатости. Для устранения данного дефекта металл перед вытяжкой дрессируют. Дрессировкой является прокат металла в холодном состоянии с малым обжатием (до 5%).



Рис. 1. Разрыв металла в местах гибки

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ГГТУ» М. В. Соколова.

Благодаря этой операции устраняется площадка текучести на кривой упрочнения металла.

Брак также может возникать, когда выбранный металл по толщине, механическим свойствам и другим показателям не соответствует разработанному технологическому процессу.

Если использовать металл повышенной толщины, это приведет к поломке штампа или прессы. Поэтому службам входного контроля необходимо тщательно проверять толщину, механические свойства, структуру, а если необходимо, то и химический состав металлов, поступающих в производство.

Неправильно спроектированная оснастка или положение в ней заготовки, а также неправильная форма и размеры рабочих частей штампа, недостаточное или чрезмерное усилие прижима, малая жесткость конструкции штампа – все это может повлиять на появление брака при штамповке. Разностенность, складки, задиры, надрывы, недоштамповка и т.д., все это является браком из-за вышеперечисленных факторов (рис. 2). Для предупреждения брака по этим причинам конструкция штампа должна быть внимательно проверена в чертежах, а изготовленный штамп следует тщательно испытать, отрегулировать и наладить.



Рис. 2. Надрыв металла при вытяжке из-за сильного прижима заготовки

Причинами брака также могут быть неправильная или неточная установка штампа, износ и поломка рабочих частей, ослабление или неправильная регулировка пружин. Поэтому при установке на пресс штампа его состояние тщательно проверяют: осматривают, протирают, смазывают направляющие устройства. При необходимости, режущие части пуансонов и матриц затачивают, заполировывают дефекты на гибочных, вытяжных и других пуансонах и матрицах, регулируют пружины.

Каждый месяц технологом цеха или производства проводится периодический контроль оснастки, участвующей в высокоточных технологических процессах. Рабочие части штампа замеряются стандартными измерительными инструментами или специальными шаблонами и вносятся в график периодического контроля оснастки (рис. 3).

УТВЕРЖДАЮ: _____

УТВЕРЖДАЮ: _____

ГРАФИК
 проведения периодического контроля оснастки для изготовления металлических деталей и сборочных единиц на изделии
 ГП-7, ДПП-3, ФПУ-200, ФПТ-200М, ФП-15, ФВУА-100А, МПТ, МТУ, Короба для НПП (ВА 4620.000, ПКЯВ 8557.000)
 на 2020 год в производстве № 2

№ п/п	Наименование и обозначение оснастки		Срок проведения испытаний	Ответственный исполнитель	Отметка о выполнении
	детали	оснастки			
1	Корпус сварочный 5077.010СБ (код. ГП-7)	Приспособление для нанесения среднего слоя на втулку ГП-7-010 СВТР-1	апрель	Начальник производства № 2	Выполн. 03.04.2020
2	Корпус 5911/ВР 05259.004 (код. ГП-7)	Штампы осадки герметика, формовки и пробивки ГП-7.004Ш-4-2	апрель	Начальник производства № 2	Выполн. 13.04.2020
3	Сетка веролюк 5911/ВР 05259.003 (код. ГП-7)	Штампы формовки ГП-7.005Ш-2	апрель	Начальник производства № 2	Выполн. 13.04.2020
4	Сетка нижняя 5911/ВР 05259.002 (код. ГП-7)	Штампы вырубки и вытяжки ГП-7.003Ш-2	апрель	Начальник производства № 2	Выполн. 13.04.2020

Рис. 3. График проведения контроля оснастки

Часто причиной получения брака является отступление от технологии производства, т.е. неправильная последовательность операций или пропуске отдельных операций (рис. 4).



Рис. 4. Деталь с пропущенной операцией калибровки

Одной из причин брака является неправильная фиксация и установка заготовки или детали в штамп, т.е. небрежность в работе, поэтому необходимо строго соблюдать технологию изготовления изделий рабочими и мастерами (рис. 5).



Рис. 5. Последствия неправильной установки детали в штамп

Часто в производстве бракуют детали с такими дефектами, как коробления, вмятины, царапины, забоины и т.д. Такие дефекты возникают при небрежной транспортировке и работе или неправильных условиях хранения деталей (рис. 6).



Рис. 6. Царапины на корпусе

Контроль качества штампованных деталей необходимо проводить во время и после завершения изготовления. Данный контроль предусматривает в себе: внешний осмотр (трещины, царапины, задиры, разрывы и т.д.) и измерение деталей согласно чертежам и межоперационным эскизам. Как контролировать, чем и после каких операций, указывается в технологическом процессе. Обычно проводится выборочный контроль от 5 до 10% продукции, однако бывает и 100% [1].

Вопросы обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки производства, рассмотренные при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров, изложены в книгах [2, 3].

Список литературы

1. Килов, А. С. Производство заготовок. Листовая штамповка: Серия учебных пособий из шести книг. Кн. 2: Получение заготовок из листового материала и гнутые профили / А. С. Килов, К. А. Килов. – Оренбург : ГОУОГУ, 2004. – 182 с.
2. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения / С. И. Пестрецов, К. А. Алтунин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько. – М. : Издательство «Спектр», 2012. – 212 с.
3. Altunin, K. A. Development of information support for intelligent cad of cutting processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – № 2. – P. 67 – 77.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.928.89

*В. С. Верченев, Д. М. Мордасов, М. Д. Мордасов, А. А. Кузнецова**

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ

Одним из важнейших направлений энерго- и ресурсосбережения, позволяющим одновременно решать природоохранные задачи, является утилизация твердых металлосодержащих отходов. Извлечение металлов из таких отходов позволяет получить относительно дешевое сырье для вторичной металлургии и создает предпосылки для полезного использования остальных компонентов отходов [1].

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. М. Мордасова.

Наиболее дешевым способом обработки отходов является их переплавка без предварительной механической подготовки. Непосредственная плавка такого лома сопровождается рядом нежелательных явлений, таких как [2]:

- потери легирующих добавок (в первую очередь, легкоплавких: олова, свинца, цинка);
- выпуск низкокачественных сплавов;
- повышенное содержание вредных выбросов, обусловленных наличием в металлоломе неметаллических включений (резина, пластмассы и т.п.);
- потери основного металла на угар при плавке металлолома с фрагментами, существенно отличающимися по размерам (например, стружки и кускового лома). Потери металла при плавке несортированного лома могут достигать 20%.

Электродинамическая сепарация позволяет сортировать лом и отходы металлов как по крупности (например, отделение кускового лома от стружки), так и по сортам и видам сплавов, а также отделять от металлов неметаллические фракции [3]. При этом для разделения материалов используются различия в их удельной электропроводности и удельном весе. Получение с помощью электродинамической сепарации селективных концентратов металлов существенно повышает ценность продуктов разделения как вторичного сырья [4].

При этом снижаются затраты на последующие металлургические переделы, уменьшаются потери металла (как основного, так и легирующих добавок), улучшаются экологические показатели металлургических процессов, появляется возможность получения из вторичных металлов высококачественных сплавов.

Одной из проблем переработки является выделение из коллективного металлического концентрата сплавов алюминия. Наличие в ломе алюминия при использовании пирометаллургических методов влияет на однородность металла и его механические свойства. Это связано с объединением окислов алюминия в пленку, плавающую в расплаве основного металла. Предварительное удаление алюминия позволяет избежать указанных трудностей, повысить долю основного переплавляемого материала и сократить потери металлов.

На сегодняшний день используются модели сепараторов фирмы ECS 500, ECS 2500 и сепараторы фирмы ЭРГА СМВТ, СМВТ-Э. Однако такие модели могут отделять лишь немагнитные металлы, такие как Al, Mg, Cu, Ag, Zn, Sn, Pb, из инертных материалов, не являющихся проводниками, например, стекло, дерево, пластик, резина,

бумага и т.д. и не способны разделять различные электропроводные немагнитные материалы, что подразумевает необходимость дальнейшей сепарации немагнитных металлов между собой (например, алюминия с цинком).

Поэтому разработка конструкций, позволяющих проводить сепарацию различных электропроводных немагнитных материалов, существенно упрощающую технологии дальнейшей переработки и снижающую энерго- и ресурсоемкость процессов, является актуальной задачей.

Для решения поставленной задачи предлагается следующая конструкция электродинамического сепаратора (рис. 1).

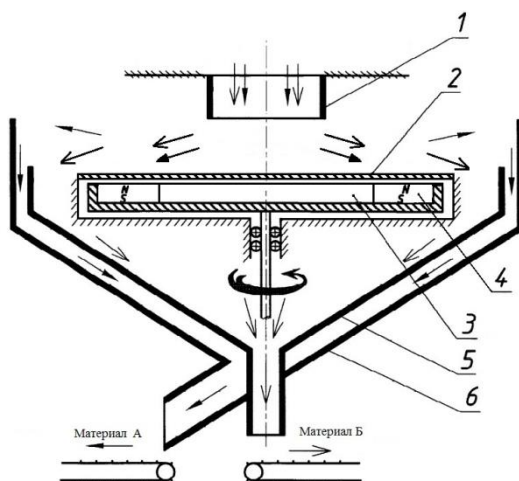


Рис. 1. Конструкция электродинамического сепаратора:

- 1 – дозатор; 2 – конусный рабочий орган;
- 3 – быстроходный ротор; 4 – постоянные магниты;
- 5 – разгрузочный бункер внутренний; 6 – наружный отсек

Устройство работает следующим образом. Сепарируемая смесь подается в дозатор (1), из которого разгружается на рабочий орган (2). Исходный материал за счет сил притяжения смещается к периферии диска, под которым вращается быстроходный ротор (3) с системой (4), формирующей переменное магнитное поле. Под действием высокочастотного магнитного поля, в электропроводных частицах, а также частицах, имеющих разные значения магнитной восприимчивости, находящихся на периферии диска, наводятся вихревые токи, в результате

взаимодействия которых с вращающимся магнитным полем ротора возникает электродинамическая сила. Равнодействующая вертикальной и горизонтальной скоростей обеспечивает траекторию полета проводящих частиц, по которой они перелетают через борт внутреннего отсека (5) разгрузочного бункера, попадают в его наружный отсек (6), откуда происходит их разгрузка.

Частицы с низким коэффициентом магнитной восприимчивости движутся по гладкой поверхности рабочего органа под воздействием вышележащих слоев и попадают во внутренний отсек разгрузочного бункера, скатываются по конической поверхности этого отсека к зоне их разгрузки.

Таким образом, предложенная конструкции электродинамического сепаратора позволяет отделять не только электропроводный материал от диэлектрического, но и проводить разделение материалов с различными коэффициентами магнитной восприимчивости.

Список литературы

1. Колобов, Г. А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. – М. : Металлургия, 1993. – 288 с.
2. Багин, Д. Н. О эффективности электродинамической сепарации в технологиях вторичной цветной металлургии / Д. Н. Багин, Н. Е. Маркин, А. Ю. Коняев // Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий : сб. науч. тр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – С. 193 – 196.
3. Черепнин, О. М. Сепарация немагнитных цветных металлов в бегущем магнитном поле / О. М. Черепнин, А. И. Шевелев, И. Г. Шаимова // Цветные металлы. – 1985. – № 11. – С. 85 – 87.
4. Тенденции и перспективы развития рециклинга металлов / А. И. Татаркин, О. А. Романова, В. Г. Дюбанов и др. // Экология и промышленность России. – 2013. – № 5. – С. 4 – 10.

Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Н. В. Воронин, Г. В. Рыбин*

СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Полимеры прочно заняли свое место среди большого количества применяемых сегодня конструкционных материалов. Но тем не менее, вне зависимости от самой их природы, среди исследователей, инженеров и конструкторов стоят вопросы либо получения принципиально новых материалов, либо улучшения эксплуатационных характеристик существующих путем упрочнения или иначе, модификации. В условиях современного производства наиболее популярен именно второй вариант, так как является менее затратным с точки зрения внедрения и последующего использования.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество методов упрочнения полимеров, и каждый из них применяется в зависимости от поставленных задач. В рамках данной работы предполагается провести краткий обзор самых распространенных методов упрочнения, не затрагивая узкоспециализированные. Так же будет рассмотрен разрабатываемый в настоящее время исследователями ТГТУ метод поверхностного упрочнения полимерных материалов.

1) *Ориентационное упрочнение*. По-другому именуется ориентационной вытяжкой. При использовании данного метода происходит ориентирование макромолекул полимера в направлении вытяжки при температуре выше, чем температура стеклования используемого полимера, упрочнение происходит также в направлении вытяжки. Может быть одноосной либо двухосной (для пленок). Прочность при разрыве в направлении ориентирования повышается в 2 – 5 раз, модуль упругости в направлении одноосной ориентации повышается до 2 раз. Данный метод используется в производстве высокопрочных полимерных волокон. Основной его недостаток – снижение прочностных характеристик полимера на 30...50% в направлении, перпендикулярном направлению вытяжки [1, 2].

2) *Экструзия*. Если рассматривать экструзию как технологический процесс, то это не столько упрочнение, сколько метод формования изделий из полимеров. Тем не менее, отдельные ее вариации

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» Ю. В. Родионова.

(например, равноканальная угловая экструзия, РКУЭ) может использоваться именно для улучшения механических характеристик полимера. Основным недостатком, в частности, метода РКУЭ – наличие больших сил трения в рабочем канале, что приводит к снижению производительности, а также невозможность изготовления изделий из полимеров сложной формы. Твердофазной «версией» этого процесса на данный момент занимаются исследователи НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии» [3].

3) *Упрочнение полимеров высокодисперсными частицами* (создание полимерных композиционных материалов, ПКМ). Один из самых популярных методов улучшения характеристик полимерных материалов. Суть его заключается во введении в полимерную основу (или матрицу) высокодисперсных частиц (наполнителя). Путем подбора матрицы и наполнителя достигаются лучшие физико-механические характеристики, нежели у исходного полимера. Один из его недостатков заключается в достаточно узком диапазоне процентного соотношения вещества матрицы и наполнителя – превышение некоторого критического значения зачастую ухудшает характеристики композита, слишком низкое может не дать никакого упрочняющего эффекта. Упрочнения также не будет, если размер частиц наполнителя будет больше критического из-за большей вероятности появления крупных трещин в полимере при гораздо меньших нагрузках, чем при меньшем размере частиц. Тем не менее, бóльшая часть ПКМ создана именно этим способом.

4) *Нанесение металлических покрытий на исходную полимерную деталь*. Суть его состоит в том, что требуемый металл наносят на подготовленную полимерную деталь-основу гальваническим или иным методом (например, обрызгиванием или вжиганием). Данный способ также весьма распространен, однако его не стоит рассматривать как способ упрочнения, поскольку в таком случае происходит не повышение прочностных характеристик полимера, а получение требуемых свойств поверхности детали, в зависимости от поставленной задачи. К тому же, этот способ резко ограничивает номенклатуру используемых полимеров – зачастую из-за недостаточных адгезионных свойств.

В настоящее время исследователями ТГТУ разрабатывается новый метод магнито-термического упрочнения полимерных термопластичных материалов. В рамках этого метода сочетается воздействие на полимерную заготовку детали теплового и мощного магнитного поля вкпе с внедрением в поверхность заготовки диспергированного металлического материала нужной фракции. При этом происходит фор-

мирование на поверхности полимера поля внедренных частиц металла, и поверхность приобретает высокую поверхностную твердость и износостойкость. Все это актуально при изготовлении из полимеров шестерен, лопаток насосов и подобных деталей машин и механизмов в транспортных машинах и установках различного назначения. Особенно широко эта технология может получить распространение в АПК, так как она недорога и применима практически ко всем видам термопластичных полимеров. Следует отметить, что в данном направлении подобных работ ранее не проводилось – различные исследования магнито-термических эффектов использовались для построения моделей каких-либо процессов, либо для исследования углеродных нанотрубок. На данный момент по этой технологии возможно обработать лишь небольшие поверхности деталей. Так же особенностью является то, что используемый для упрочнения поверхности порошок должен быть изготовлен из ферромагнитного материала (чистое железо, сталь, никель и т.д.). Ведутся дополнительные исследования для расширения областей применения и совершенствования данного метода.

Существуют теоретические предпосылки создания перспективного метода упрочнения армированных нуль-мерными наполнителями полимеров, заключающегося в создании повышенной концентрации частиц металла в необходимом месте, к примеру, около поверхности полимерной заготовки. В этом случае речь может вестись о своего рода «направленной ликвации». Такой метод может быть применен как для деталей, изготовленных методом экструзии или спекания, так и для деталей, напечатанных на 3D-принтере, однако для его отработки необходимы дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

Выводы.

1. Самым массовым на сегодняшний день методом упрочнения полимеров является создание ПКМ путем введения частиц наполнителя в полимерную матрицу.
2. Активно разрабатываются теоретические базы и проводятся практические исследования перспективных методов упрочнения изделий полимерных материалов.
3. Указанные в докладе перспективные методы упрочнения полимерных материалов требуют доработки и дополнительных исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках исследований по гранту (договор № 20-33-90298\20).

Список литературы

1. Полимерные наноккомпозиты и изделия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), полученные объемной штамповкой в твердой фазе / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, С. В. Мищенко и др. // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы VIII Междунар. науч.-инновац. молодежной конф. – Тамбов, 2016. – С. 28 – 33.
2. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров / Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова и др. // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 85 – 97.
3. Manufacturing products from polymers and polymerbased composite materials by solid phase pressure forming: problems, solutions and prospects / D. Yu. Kobzev, P. V. Kombarova, G. S. Baronin et al. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 15th. – 2015. – P. 127 – 134.

Кафедра «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 004.02

*С. А. Ермакова**

ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

Газорегуляторным пунктом называется комплекс технологического оборудования и устройств, предназначенный для понижения входного давления газа до заданного уровня и поддержания его на выходе постоянным, независимо от расхода газа. В зависимости от размещения оборудования, газорегуляторные пункты подразделяются на несколько типов:

- стационарный газорегуляторный пункт (ГРП) – оборудование размещается в специально для этого предназначенных зданиях, помещениях или на открытых площадках. Принципиальное отличие ГРП от ГРПБ, ГРПШ, ГРУ, ДРП состоит в том, что ГРП (в отличие от последних) не является типовым изделием полной заводской готовности;

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Немтинова.

- газорегуляторный пункт блочный (ГРПБ) – оборудование смонтировано в одном или нескольких зданиях контейнерного типа;
- газорегуляторный пункт шкафной (ГРПШ, ШРП) – оборудование размещается в шкафу из несгораемых материалов;
- газорегуляторная установка (ГРУ) – оборудование смонтировано на раме и размещается в помещении, в котором расположена газоиспользующая установка, или в помещении, соединенном с ним открытым проемом [1].

При эксплуатации ГРП должны выполняться следующие работы: осмотр технического состояния; проверка параметров срабатывания предохранительных запорных и сбросных клапанов не реже одного раза в два месяца, а также по окончании ремонта оборудования; техническое обслуживание не реже одного раза в шесть месяцев; текущий ремонт не реже одного раза в год, если заводом-изготовителем регуляторов давления, предохранительных клапанов, телемеханических устройств не требуется проведения ремонта в более короткие сроки; капитальный ремонт при замене оборудования, средств измерения, отопления, освещения и восстановлении строительных конструкций здания на основании дефектных ведомостей, составленных по результатам осмотров.

Результаты ремонтов оборудования ГРП, связанных с заменой деталей и узлов оборудования, должны заноситься в паспорт ГРП. О всех работах по обслуживанию делают записи в эксплуатационных журналах установленной формы, где указываются все нарушения, допущенные при эксплуатации оборудования ГРП, и работы, выполненные по устранению этих нарушений.

Осмотр технического состояния ГРП проводится по графику, утвержденному главным инженером предприятия; осмотры должны обеспечивать безопасность и надежность эксплуатации. При осмотре технического состояния ГРП должны выполняться: проверка по приборам давления газа до и после регулятора, перепада давления в фильтре, температуры воздуха в помещении, отсутствия утечки газа с помощью мыльной эмульсии или прибором; контроль за правильностью положения молоточка и надежности сцепления рычагов и предохранительно-запорного клапана.

При оснащении систем газоснабжения города средствами телемеханики технический осмотр как телемеханизированных, так и не телемеханизированных ГРП, но работающих в одной системе, проводится в сроки, определяемые инструкцией по эксплуатации, но не реже одного раза в месяц. Технический осмотр ГРП, расположенных в отдельных стоящих зданиях, встроенных и пристроенных к зданиям с обособ-

ленным входом, проводится, как правило, двумя рабочими. Допускается осмотр таких ГРП одним рабочим по специально разработанной инструкции, где предусматривают дополнительные меры безопасности. Показания приборов и результаты осмотра должны быть занесены в журнал обслуживания ГРП.

О нарушении режимов работы газоснабжения, наличии аварийных ситуаций или серьезных неполадок в работе оборудования, обнаруженных при техническом осмотре, необходимо немедленно сообщить в АДС и до прибытия аварийной бригады принять меры по предупреждению аварий.

При техническом обслуживании выполняются: проверка работоспособности и герметичности запорной арматуры и предохранительных клапанов; проверка плотности всех соединений и арматуры, устранение утечек газа, осмотр фильтра; смазка трущихся частей и перенабивка сальников; определение плотности и чувствительности мембран регулятора давления и управления; продувка импульсных трубок к контрольно-измерительным приборам, предохранительно-запорному клапану и регулировка давления; проверка параметров настройки запорных и сбросных клапанов.

При ежегодном текущем ремонте обязательно выполнение следующих работ: разборка регуляторов давления, предохранительных клапанов с очисткой их от коррозии и загрязнений; проверка плотности прилегания к седлу клапанов, состояние мембран; смазка трущихся частей; ремонт или замена изношенных деталей, проверка надежности креплений конструктивных узлов, не подлежащих к разборке; разборка запорной арматуры, не обеспечивающей герметичности закрытия; ремонт строительных конструкций; проверка и прочистка дымоходов – один раз в год перед отопительным сезоном; ремонт системы отопления, один раз в год перед отопительным сезоном.

После проверки и настройки оборудования и устранения всех неполадок проверяют плотность всех соединений. В случае обнаружения утечки, принимают меры по ее немедленному устранению.

В связи с этим данная работа посвящена вопросам разработки информационно-логической модели (ИЛМ) поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания оборудования пункта редуцирования газа [1].

Для качественного выполнения всех работ на оборудовании пункта редуцирования газа необходима тщательная подготовка и настройка оборудования. Если эти работы проведены хорошо и в оптимальные сроки, с соблюдением всех правил, это положительно скажется на функции газораспределительной сети.

В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания оборудования пункта редуцирования газа перед началом и в ходе выполнения технологических операций представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил. Отдельное производственное правило, содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей [2 – 5]: антецедента и консеквента. Ниже приведен пример правил применительно к оборудованию пункта редуцирования газа:

а) при обслуживании оборудования:

– *если «выходное давление» = «низкое», то «клапан должен сработать при давлении газа на 50 мм вод. ст. выше рабочего давления газа»;*

– *если «клапан» = «плотно закрыт», то «шум, издаваемый регулятором» = «не прослушивается»;*

– *если «выходное давление» = «снижается», то «задвижка на байпасе» = «приоткрыть, чтобы поддерживалось требуемое давление»;*

...

б) при ремонте оборудования:

– *если «мембрана» = «вышла из строя», то «задвижка входная» = «закрыть» и «задвижка выходная» = «закрыть» и «импульсные трубки» = «отсоединить» и «регулятор» = «разобрать» и «старая мембрана» = «снять» и «новая мембрана» = «поставить» и «регулятор» = «собрать» и «импульсные трубки» = «соединить» и «регулятор» = «отрегулировать»;*

– *если «пружина» = «вышла из строя», то «дверки ШРП» = «открыть» и «газоснабжение» = «переключить на байпас (резервную нитку)» и «нажимная гайка» = «вывернуть» и «старая пружина» = «вынуть» и «новая пружина» = «поставить» и «нажимная гайка» = «поставить» и «газоснабжение» = «переключить на рабочую нитку» и «регулятор давления» = «настроить и проверить работу»;*

– *если «седло» = «вышло из строя», то «дверки ГРП» = «открыть» и «газоснабжение» = «переключить на байпас (резервную нитку)» и «входная задвижка» = «закрыть» и «выходная задвижка» = «закрыть» и «крышка люка» = «снять» и «старое седло» = «снять» и «новое седло» = «поставить» и «крышка люка» = «установить» и «регулятор» = «отрегулировать» и «газоснабжение» = «переключить на рабочую нитку»;*

...

Для реализации информационно-логической модели планируется использовать программную среду экспертной системы CLIPS, включающей полноценный объектно-ориентированный язык COOL.

Список литературы

1. СНиП 42 01–2002. Газораспределительные системы. – Введ. 2003-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 2003.
2. Пахомов, П. И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П. И. Пахомов, В. А. Немтинов. – М., 2009. – 123 с.
3. Немтинов, В. А. Об оценке эффективности инвестиционной деятельности при размещении химических производств / В. А. Немтинов, Ю. В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 375 – 382.
4. Горелов, И. А. Компьютерные технологии при решении вопросов развития территорий городских муниципальных образований / И. А. Горелов, В. А. Немтинов // Информационное общество. – 2014. – № 1. – С. 49 – 54.
5. Чурилин, А. В. Пункты редуцирования газа / А. В. Чурилин, Л. В. Демичева – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ» 2014. – 94 с.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 669-539.5

И. А. Зайцев, Д. А. Полубояринов*

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Электропроводящие полимеры с наполнителем в виде углеродных нанотрубок (УНТ) занимают особое место среди многофункциональных композиционных материалов, поскольку они способны не только снизить массу изделий, но и использовать электрическую форму энергии для реализации некоторых функций механизма или создания канала информации о его состоянии, что найдет применение в авиационной и космической промышленности, судостроительстве и автомобилестроении. Это объясняется наличием у УНТ уникальных свойств, например, высокой электропроводности [1], которая позволя-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Н. Блохина.

ет расширить границы применения нанокompозитов и использовать их в качестве элементов электроники и антистатических покрытий. Методы придания электропроводности полимерным материалам, использующиеся многие годы, основывались на внесении большого количества электропроводящей добавки (доля графита, металла или соединения титана составляла около 60...80% от общей массы композита), что приводило к охрупчиванию материала, тем самым снижая прочностные и эксплуатационные характеристики.

Используемый нами метод состоит в непосредственном (физико-механическом) внедрении, распределении и измельчении УНТ в эпоксидной матрице, что позволяет достичь электропроводности примерно в 2...3 Ом·м, при этом вносится сравнительно небольшое количество добавки. Так же УНТ увеличивают прочность, что позволяет скомпенсировать уменьшение данной характеристики материала при использовании достаточно больших соотношений вносимого материала в эпоксидную матрицу.

Положительная сторона предложенного нами метода: возможность наполнения композита УНТ вместе с классическими наполнителями. Данное свойство дает возможность нам говорить о перспективе промышленного внедрения использованного нами метода.

Целью работы является изучение изменения электропроводности полученных нанокompозиционных полимерных материалов с разным соотношением наполнителя и эпоксидной смолы.

В качестве электропроводящей добавки использованы многостенные УНТ «Таунит» и УНТМ «Таунит М», полученные промышленным методом на ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов [3]. Основные характеристики углеродных наноматериалов представлены в табл. 1. Процент внесения в эпоксидную матрицу составил от 0,5 до 6% (масс.).

1. Характеристики используемых углеродных нанотрубок

Параметры	«Таунит» (УНТ _T)	«Таунит-М» (УНТ _M)
Наружный диаметр, нм	20...50	10...30
Внутренний диаметр, нм	10...20	5...15
Длина, $\mu\text{м}$	2 и более	2 и более
Насыпная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	0,3...0,6	0,025...0,06
Удельная поверхность (методом сорбции по азоту), $\text{м}^2/\text{г}$	160 и более	270 и более

Разница в диаметрах наполнителя говорит нам о разном количестве слоев, а следовательно, большем количестве УНТм, которое приходится на 1 грамм вещества, что влияет на свойства электропроводимости. При внесении одинаковых массовых процентов электропроводимость будет разная.

УНТ, ввиду своей структуры, склонны к образованию агломератов, что препятствует равномерному распределению их в матрице. Данная особенность не позволяет нам достичь желаемой эффективности при модификации полимера. Поэтому внесение и распределение наполнителя совмещалось диспергированием в эпоксидной смоле. Диспергирование происходило в зазоре 5 мкм со сдвиговым воздействием и последующей УЗ-обработкой. Распределение и локализация УНТт и УНТм в структуре эпоксидной матрицы после деагломерации представлены на рис. 1 и 2.

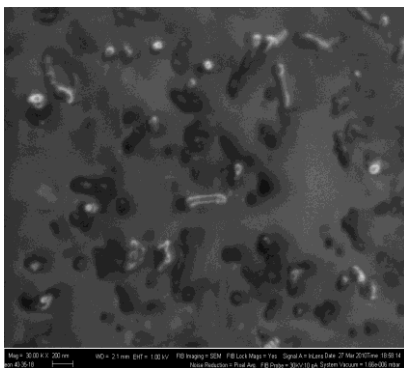


Рис. 1. Микроструктура 5% масс. УНТт в эпоксидной смоле, масштаб: 200 nm

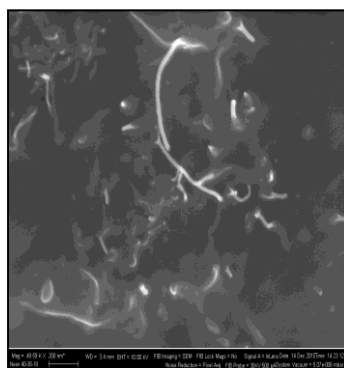


Рис. 2. Микроструктура 5% масс. УНТм в эпоксидной смоле, масштаб: 200 nm

Анализ влияния предложенных методик внесения наполнителя на дисперсность частиц проводился методом динамического рассеяния света на анализаторе Nicomp 380 ZLS, который позволяет провести оценку размера частиц дисперсной фазы, который являлся бы истинным, если они были сферической формы. Так как УНТ и агломераты, которые они образуют, не имеют шарообразной формы, то результаты анализа позволяют нам оценить лишь качественное изменение дисперсного состава анализируемых суспензий до эмульгирования и после. Исходная дисперсность УНТт и УНТм находилась в пределах 5...35 мкм. После распределения и измельчения предложенным способом до 500 нм.

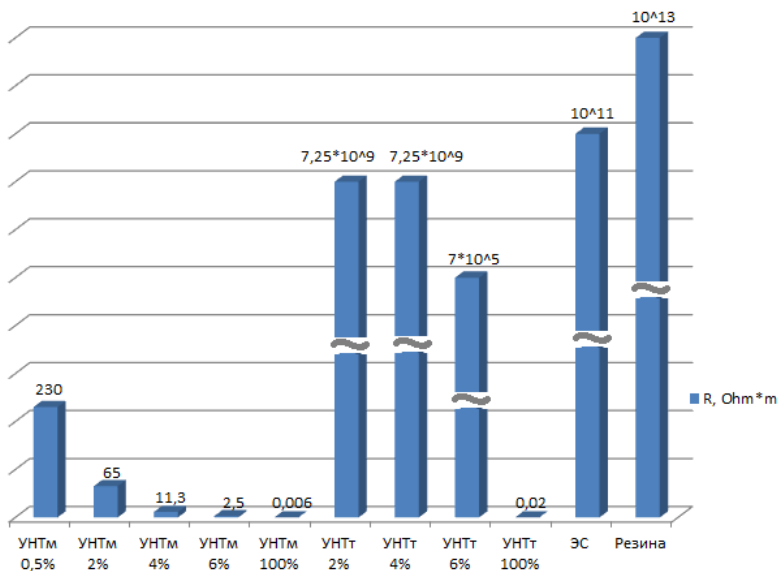


Рис. 3. Зависимость изменения удельного сопротивления от структуры добавки и ее процентного содержания

Для определения удельного электрического сопротивления использовался «Тераомметр Е6-13А». Образцы имели вид цилиндров длиной 40 мм и 4 мм в диаметре. Контакты были присоединены с равным прижимным усилием с торцов образца. Результаты исследования представлены на рис. 3.

Исследования показали, что УНТМ, по сравнению с УНТ, обладают большей электропроводностью благодаря разной хиральности. Предполагается, что УНТ являются хорошими проводниками электричества, образуя перколяционный контур, который появляется на границах макромолекул в процессе полимеризации, что и придает нанокompозиту свойства электропроводности. Устойчивый перколяционный контур образуется при внесении около 2% (масс.) УНТМ в матрицу.

В результате проведенного исследования было установлено, что для придания композиционным материалам электропроводности рекомендуется использовать в качестве наполнителя УНТМ. Верхний предел процента добавки ограничивается падением вязкости мономера. В исследованных диапазонах влияния концентраций на сопротивление электричеству зависимость носит прогнозируемый характер, что может послужить правилом для определения процента добавки под требования к электропроводности создаваемого материала.

Список литературы

1. Encapsulated nanowires: Boosting electronic transport in carbon nanotubes / A. Vasylenko, J. Wynn, V. C. Medeiros et al. // *Physical Review B*. 95. – 2016. – P. 97 – 104.
2. Thostenson, E. T. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: A review / E. T. Thostenson, Z. Ren, T. W. Chou // *Composites Science and Technology*. 61. – 2001. – P. 1899 – 1912.
3. ООО «Нанотехцентр»: [сайт]. – URL : <http://nanotc.ru>

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВО «ГГТУ»*

УДК 004.896

*Ю. С. Иванчей**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ ИЗ ТИТАНА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

Механическая обработка титана – это технологический процесс, в рамках которого заготовке придают желаемую форму, размер, а также чистоту поверхности.

Данный металл очень прочный, отлично противостоит коррозии, имеет небольшую массу. Использование титана позволяет увеличить долговечность, надежность детали и, следовательно, снизить расходы на капитальный ремонт и обслуживание этого оборудования. Эти характеристики являются его важными преимуществами и определяют широкую сферу применения титановых сплавов и самого металла в чистом виде.

Преимущества металла по сравнению с другими материалами:

1. Высокая температура плавления, являющаяся необходимым условием повышенной жаропрочности.
2. Высокая прочность, низкий удельный вес и, как следствие этих двух качеств, высокая удельная прочность.
3. Низкий коэффициент теплового расширения, обуславливающий хорошую сопротивляемость материала термической усталости.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ГГТУ» М. В. Соколова.

4. Высокая химическая стойкость, обеспечивающая применение титана и его сплавов в различных агрессивных средах.

5. Высокая стойкость против эрозии и кавитации.

Наряду с преимуществами материала, он имеет некоторые недостатки при резании:

1. Высокая стоимость производства: титан значительно дороже железа, алюминия, меди и т.д.

2. Активное взаимодействие при высоких температурах, особенно в жидком состоянии, со всеми газами.

3. Высокая стоимость производства, титан значительно дороже железа, алюминия, меди и т.д.

4. Плохие антифрикционные свойства, обусловленные налипанием титана на многие материалы, например, титан в паре с титаном не может работать на трение.

5. Плохая обрабатываемость резанием, аналогичная обрабатываемости нержавеющей сталей аустенитного класса.

Исследование технологии обработки детали из титана. Перед обработкой титана очень важно провести анализ и оптимизацию процесса. Это поможет определить оптимальный инструмент и использовать его преимущества в этой специфичной области применения.

Базовый анализ включает следующие этапы:

1. Анализ условий.

2. Выбор стратегии обработки.

3. Выбор концепции инструмента.

4. Выбор инструмента, назначение режимов резания.

5. Программирование в САМ-системе и моделирование процесса или просто моделирование процесса обработки.

Существует несколько видов механической обработки титана: резание, фрезерование, точение, шлифование, сверление.

Каждая из указанных механических обработок имеет свои особенности и сложности, которые нужно учитывать при выполнении поставленных задач. Это не только выбор правильного оборудования, но также его корректная настройка, скорость выполнения каждой задачи и прочие параметры.

Резание металла – это самый популярный вид механической обработки материала, так как он позволяет получить заготовку нужного размера, а иногда и формы. Существует несколько видов резки данного металла, самые популярные из которых:

– гидроабразивная – под воздействием очень мощной струи воды, в которую заранее поместили твердые абразивные частицы, происходит раскройка металла;

- лазерная – использование лазерного луча высокой мощности;
- механическим воздействием.

Фрезерование титановых изделий: особенности обработки.

Фрезеровка – это процесс воздействия на металл специальными инструментами – фрезами.

Чтобы фрезеровка титановых изделий была качественной, рекомендуется придерживаться некоторых советов:

1. Сохраняйте небольшую площадь контакта. Одна из особенностей данного металла – плохая теплопроводность. Во время работы с данным металлом основной процент тепла передается на рабочий инструмент.

2. Используйте фрезы с большим количеством зубьев (в идеале – десять и более). Это позволит устранить необходимость снижения подачи на зуб и увеличит производительность.

3. При фрезеровке формируйте стружку по принципу «от толстой – к тонкой», т.е. начинайте работу на максимальной толщине среза, постепенно доводя к минимальной. Таким образом, толстая стружка на входе будет поглощать образовавшееся тепло, а тонкая стружка на выходе не будет налипать.

4. Выполняйте резание по дуге. Это не только увеличит срок службы инструмента, но и предотвратит резку рывками, обеспечит постепенное увеличение силы резания.

5. На каждом выходе инструмента из материала снимайте 45-градусную фаску. Это позволит снизить резкость перехода и избежать повреждения поверхности заготовок.

6. Отдавайте предпочтение фрезам, у которых большой вспомогательный задний угол. Таким образом, первая область кромки будет принимать на себя нагрузку, а следующая увеличит зазор. В результате увеличивается и производительность, и срок службы инструмента.

7. Пользуйтесь инструментом меньшего диаметра, чем паз. При фрезеровке титановых изделий поглощается большое количество тепла. Для охлаждения фрезы требуется пространство. В идеале, диаметр фрезы не должен превышать 70% диаметра будущего паза.

Сверление – это разновидность механической обработки материала, при котором, используя специальный вращающийся режущий инструмент, получают отверстия разного диаметра. При сверлении титана мелкая стружка постоянно налипает на рабочую поверхность инструмента, что причиняет массу неудобств в работе. Для того чтобы не допустить поломку инструмента, отводящие каналы сверла нужно постоянно и своевременно очищать. При этом рекомендуется использовать сверла из твердых, прочных материалов.

Шлифовка: в ходе процесса с поверхности детали или заготовки снимается тонкий слой металла, для чего используются абразивные вещества. Для титановых изделий это особенно важно ввиду специфических свойств самого материала, а также титановых сплавов, на их поверхности часто образуются различные дефекты. Кроме того, на титановых сплавах часто появляются прижоги. Все это сказывается на усталостных характеристиках готовых изделий, снижает их качество. Чтобы минимизировать риск отрицательного результата, шлифовку титановых изделий и заготовок осуществляют на низких оборотах станка, используя при этом специальные режимы.

Вопросы обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки производства, рассмотренные при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров, изложены в книгах [2, 3].

Список литературы

1. Титановые сплавы в машиностроении : учебник / Б. Б. Чечулин, С. С. Ушков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольфайн. – М. : Изд-во Машиностроение, 1977. – 248 с.
2. Илларионов, А. Г. Технические и эксплуатационные свойства титановых сплавов : учебное пособие / А. Г. Илларионов, А. А. Попов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 137 с.
3. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения / С. И. Пестрецов, К. А. Алтунин, М. В. Соколов, В. Г. Однолько. – М. : Изд-во «Спектр», 2012. – 212 с.
4. Altunin, K. A. Development of information support for intelligent cad of cutting processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // *Advanced Materials and Technologies*. – 2017. – № 2. – P. 67 – 77.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ПГТУ»*

*А. В. Крылов**

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОРОШЕНИЯ В ПЕННОМ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕ

Пенные пылеуловители представляют собой аппараты, корпус которых разделен решеткой с равномерно расположенными мелкими отверстиями. Запыленный поток поступает под решетку, очищенный удаляется из верхней части корпуса. Вода поступает на решетку сверху. В зависимости от конструкции пылеуловителя вода с поверхности решетки отводится через отверстия в решетке и частично через слив, либо только через отверстия. Пенные аппараты относятся к низконапорным пылеуловителям. По способу отвода жидкости с решетки их подразделяют на два основных типа: с переливными решетками и с провальными решетками [1].

Одним из недостатков пенных газопромывателей является работа в определенном режиме скорости газа. Устранение этого недостатка возможно за счет внедрения дополнительного орошения в пенном газопромывателе – запыленный поток пропускается через завесу распыляемой жидкости. При этом частицы пыли будут захватываться каплями промывочной жидкости, а очищенный поток удаляется из верхней части корпуса.

Для дополнительного орошения будем использовать центробежные форсунки грубого распыла, работающие под давлением 0,3...0,4 МПа и создающие капли требуемого размера. Применение таких форсунок позволяет работать на оборотной воде, содержащей взвеси. Из центробежных форсунок в данном случае подходят спиральные форсунки. Спиральные форсунки – простые, необычные и надежные распылители. Их еще называют «пиг тейл» (pig tail), поросчатый хвост, винтовые форсунки и т.п. Форсунки со спиральным соплом – это универсальный разбрызгиватель для жидкостей, содержащих взвешенную фазу. К ключевым особенностям спиральных форсунок относят широкий и равномерный угол распыла (полный или полый конус), эффективное распыление вязких жидкостей, и самое главное – абсолютная устойчивость к засорению. Конструкция формы распыла данных форсунок представляет собой сплошную спираль жидкости, вращающуюся внутри конического пространства [2].

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ГГТУ» В. А. Немтинова.

Высокая устойчивость к закупоркам делает эти распылители крайне востребованными, когда стоит задача мелко и равномерно распылить большой объем жидкости, в составе которой присутствуют взвешенные частицы (загрязнения). Так же данные качества незаменимы в условиях, когда безопасность или надежность системы выходят на первый план [3, 4].

Прямоток, где вода подается по направлению потока воздуха, или противоток, где вода подается против направления. У противотока более высокое сопротивление и выше степень очистки, у прямотока, наоборот, ниже сопротивление и меньше степень очистки.

Далее определяем схему расположения форсунок. Для этого моделируем распыл форсунки. Так как распыл представляет форму конуса (см. рис. 1), воспользуемся формулой для определения радиуса:

$$L = H \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где α – угол распыла форсунки; H – высота от места распыления форсунки до основания решетки.

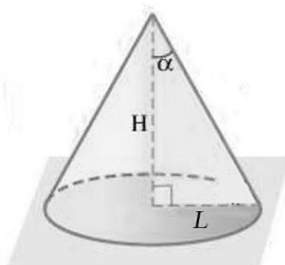


Рис. 1. Модель распыла форсунки

На следующем этапе, используя программу solidworks simulation, моделируем распыл форсунки (см. рис. 2) и подбираем оптимальную схему орошения с наибольшим охватом сечения абсорбера (см. рис. 3).

Дополнительное орошение проектируем таким образом, чтобы можно было поворотом форсунки на 180° поменять режим орошения.

При проведении испытания работы абсорбера контроль процесса проводился с помощью листа картона. Включая на несколько секунд установку со схемой противотока, фиксируем результаты на листе картона (мокрая зона показывает нам контакт жидкости с запыленным потоком). Далее меняем картонку и поворачиваем форсунки на 180° и проводим испытания со схемой прямотока. В противотоке мы наблюдаем более равномерное распределение жидкости по сечению аппара-

та, что означает наибольший контакт жидкости с запыленным потоком и наилучшую очистку. При реализации прямотока наблюдаются худшие результаты.

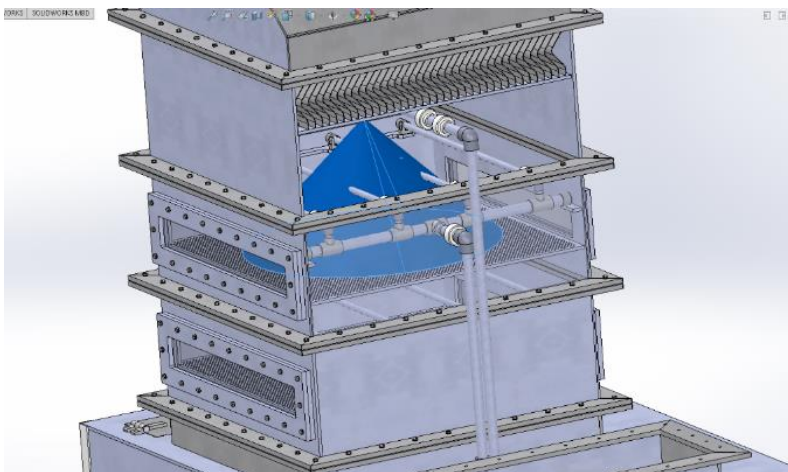


Рис. 2. Визуализация модели распыла форсунки в газопромывателе

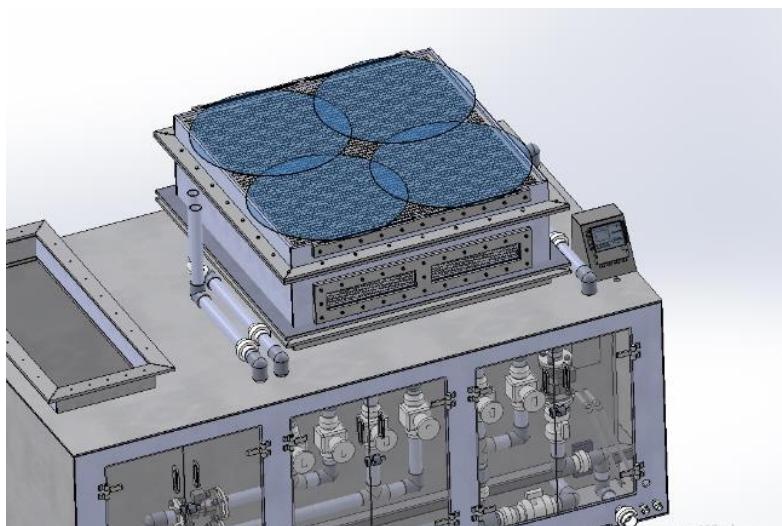


Рис. 3. Визуализация оптимальной схемы орошения

В результате опытных испытаний принимается схема противотока как наиболее оптимальная схема для работы. Сами испытания считаем успешными, так как смогли добиться максимального контакта жидкости с запыленным потоком воздуха.

Закключение. В данной работе разработана конструкция дополнительного орошения. Проведены опытные испытания аппарата с двумя схемами орошения: противоток и прямоток. Выявлены особенности работы в каждом из режимов. Противоток определен как оптимальная схема для работы.

Список литературы

1. Алексеенко, Б. А. Оборудование и эксплуатация пылеулавливающих установок : учебное пособие для рабочих профессий / А. М. Барановский. – М. : НИИТЭХИМ, 1989. – 44 с.

2. Ветошкин, А. Г. Процессы и аппараты пылеочистки : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 124 с.

3. Мокрозуб, В. Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 7. – С. 31 – 34.

4. Малыгин, Е. Н. Автоматизированный синтез системы очистки газовых выбросов для многоассортиментных малотоннажных химических производств / Е. Н. Малыгин, В. А. Немтинов, Ю. В. Немтинова // Теоретические основы химической технологии. – 2003. – Т. 37, № 6. – С. 653 – 660.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Т. С. Кузнецова, А. В. Бабкин, А. Е. Бураков**

ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ АЭРОГЕЛИ ДЛЯ СОРБЦИИ НЕФТИ И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

Загрязнение воды вследствие нефтяных разливов – важная экологическая проблема всего мира, поскольку она влияет как на качество воды, так и на флору и фауну места аварии. Загрязнение водоемов происходит в результате чрезвычайных ситуаций, промышленной добычи нефти, ее переработки, транспортировки.

Существуют различные методы устранения последствий аварий [1]:

- механический;
- термический;
- физико-химический;
- биологический.

Применение сорбентов – один из самых распространенных способов устранения последствий нефтяных разливов. По природе происхождения сорбционные материалы принято делить на органические (солома, листья, деревянные опилки, мох, шелуха), неорганические (графит, перлит, стекловолокно) и синтетические материалы (гранулы пенополистирола, волокно полипропилена, измельченные шины, порошок карбамидоформальдегидной смолы, поролон гранулированный, синтепон).

Органические материалы являются самыми экологичными, но их сорбционная способность ниже, чем у других сорбентов. Синтетические имеют хорошие показатели сорбционной емкости, но вызывает трудности их утилизация. Неорганические сорбенты имеют средние показатели сорбционной способности, но хорошие предпосылки для улучшения сорбционных показателей (табл. 1) [2].

Исследования в сфере создания и модификации сорбентов ведутся в направлении увеличения сорбционной емкости материалов, повышения гидрофобности, пористости, развития удельной поверхности, способности к регенерации.

Трехмерные углеродные наноструктуры привлекают ученых по всему миру своими удивительными характеристиками. Синтезируя

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» Т. В. Пасько.

материалы, основу которых составляют несколько нанообъектов, например, листы графена, углеродные нанотрубки (УНТ), возможно добиться синергетического эффекта в сравнении с материалами на базе одной наноструктуры.

1. Сорбционная способность традиционных материалов

Сорбент		Сорбционная способность, г/г
Природные органические материалы	Солома	4,1
	Камышовые листья	6,1
	Древесные опилки	1,7
	Торф	17,7
	Шерсть	10
	Сфагновый мох	7
Синтетические материалы	Гранулы пенополистирола	12
	Волокно полипропилена	40
	Измельченные шины	3,6
	Порошок карбамидо-формальдегидной смолы	39,6
	Поролон гранулированный	36,9
Неорганические материалы	Стекловолокно	5,4
	Графит	60
	Перлит	7
	Базальтовое волокно	37

Внедрение функциональных агентов при создании аэрогелей позволяет модифицировать эти структуры легированием азотом (за счет пиррола или органического амина), азотом и бором (добавлением аммиачного трифторида бора), включением других нанообъектов (углеродные нанотрубки, нанопроволоки, наночастицы, полианилиновые нановолокна и нанопроволоки) для повышения гидрофобности конечного продукта, увеличения размера пор, увеличения межмолекулярного взаимодействия.

Анализ литературы показал удивительные величины сорбционной способности трехмерных структур (чаще аэрогелей), полученных на основе оксида графена и УНТ.

Существует несколько подходов к синтезу аэрогелей. При работе с углеродными нанотрубками применяют синтез на основе гидрогелей, метод шаблонного ориентирования, метода химического осаждения из паровой фазы. При работе с оксидом графена используют самосборный синтез, индуцированный восстановлением, шаблонно-ориентированный, метод сшивания и выращивание технологией CVD.

Однако из-за наличия функциональных групп, расположенных на поверхности оксида графена, получаемые материалы не имеют должной степени гидрофобности, в результате чего происходит одновременное поглощение нефтепродуктов и воды. Для устранения этого препятствия применяется дополнительная постобработка, например, путем карбонизации.

В зависимости от способа получения, можно управлять характеристиками сорбционных материалов, влияющими на количество сорбированных нефтепродуктов: показателями удельной поверхности, размерами пор, плотностью, функциональными группами на поверхности, степенью гидрофобности (табл. 2) [3].

2. Сорбционная емкость инновационных материалов

Сорбент	Сорбционная емкость, г/г
Магнитная пена графена	260
Пена с восстановленным оксидом графена	400
Магнитный расслоенный графит	300...490
Аэрогель на основе 3D-графена	300...400
Графеновый аэрогель	120...250
Пена оксида графена	70...125
Графеновая губка	140...616,4
УНТ / графеновые аэрогели	100...322,8
Лигнин / графеновые аэрогели	254...522
Целлюлоза / графен аэрогели	80...197
Макропористый углеродный монолит	87...273
Графеновая губка	120...616

Перспективным направлением исследований является применение полианилиновых соединений в структуре аэрогеля для сорбции нефтепродуктов.

Выбор полианилиновых материалов в качестве функционализирующего агента углеродных наноматериалов не случаен. Нанотрубки на основе полианилина и модифицированные многостенные углеродные нанотрубки похожи по молекулярной структуре и морфологии [4]. Материалы, полученные на основе полианилина, имеют иную химическую природу, но схожую геометрию: большие полые ячейки, перспективные для сорбционного поглощения нефтепродуктов. Нанотрубки на основе полианилина имеют множество функциональных групп, содержащих азот, а классические УНТ специально модифицируют азотсодержащими группами либо атомами азота для увеличения сорбционных показателей конечных сорбентов. При этом удельная поверхность полианилиновых наноструктур увеличивается в несколько раз после стадии карбонизации и приближается к значениям, типичным для коммерческих УНТ, модифицированных азотом.

Таким образом, комбинируя перспективные наноматериалы – УНТ, оксид графена, наноструктуры полианилина – возможно синтезировать трехмерный графеновый аэрогель, обладающий комплексом свойств, необходимых для быстрого и эффективного удаления нефтепродуктов с поверхности водоемов.

Список литературы

1. Сериков, Ф. Т. Методы профилактики и ликвидации аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли / Ф. Т. Сериков, Б. Б. Оразбаев. – Алматы : Былым, 2011.
2. Очистка нефтесодержащих сточных вод магнитосорбентами на основе ферритизированного гальваношлама / И. В. Долбня, Е. А. Татаринцева, К. В. Козьмич и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 23.
3. Enhanced fluoride uptake by bimetallic hydroxides anchored in cotton cellulose/graphene oxide composites / Yanan Shang, Zihang Wang, Xing Xu et al. // Journal of Hazardous Materials. – 2019.
4. The conversion of polyaniline nanotubes to nitrogen-containing carbon nanotubes and their comparison with multi-walled carbon nanotubes / M. Trchová, E. Konyushenko, J. Stejskal et al. // Polymer Degradation and Stability. – V. 94, Is. 6. – 2009. – P. 929 – 938.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*М. А. Матрохин**

ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ НАГРЕВА РАСТВОРА В УСТАНОВКЕ ПОКРЫТИЯ НАСЫПЬЮ

Для проведения процесса покрытия в установке покрытия насыпью необходим нагрев раствора. В зависимости от вида покрытия, температура нагрева различается. Существует два способа нагрева растворов в гальванических ваннах. С помощью трубчатых электронагревателей (ТЭНов) и с помощью паровых коллекторов. Не каждое предприятие располагает паровыми котельными, хотя они существенно дешевле в получении тепловой энергии. Но расположение коллекторов нагрева в ваннах, при наборе определенной температуры не всегда соответствует размерам ванны, по существу, невозможно расположить коллекторы в ванне в силу большой поверхности нагрева на коллекторе или не хватает места.

В данной работе рассмотрены вопросы выбора оптимального метода нагрева раствора в установке покрытия насыпью в зависимости от вида покрытия.

Электронагреватели (ТЭНы) обладают способностью в одинаковых нагревательных колбах размещать нагревательные элементы разной мощности, а также способ монтажа ТЭНа намного проще в ванне и нагрев происходит намного равномернее, к тому же, ТЭНами можно регулировать время и мощность нагрева.

ТЭНы имеют ряд преимуществ: ТЭНы не взаимодействуют с растворами, ТЭН можно легко устанавливать или менять, не сливая раствор, что более безопасно для людей, и рабочий процесс в цехе не приостанавливается. Сухие ТЭНы легко устанавливаются в колбе и также легко обслуживаются. Колба находится с внешней стороны гальванической ванны. Она полностью изолирует сухой ТЭН от рабочего раствора [1 – 3].

В зависимости от требований к гальваническим покрытиям, могут возникать разные требования к самому процессу, например, неравномерное покрытие. Такой эффект достигается за счет неравномерного нагрева рабочего солевого раствора. Для этого создаются холодные зоны в определенных точках сухого ТЭНа, позволяя неравномерно распределять мощность по длине нагревателя. Таким образом, ТЭН в разных своих участках имеет разную температуру, которую передает

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ГГТУ» В. А. Немтинова.

раствору. Например, по краям ТЭН может быть одной температуры, а в середине – другой, значительно ниже или выше [4].

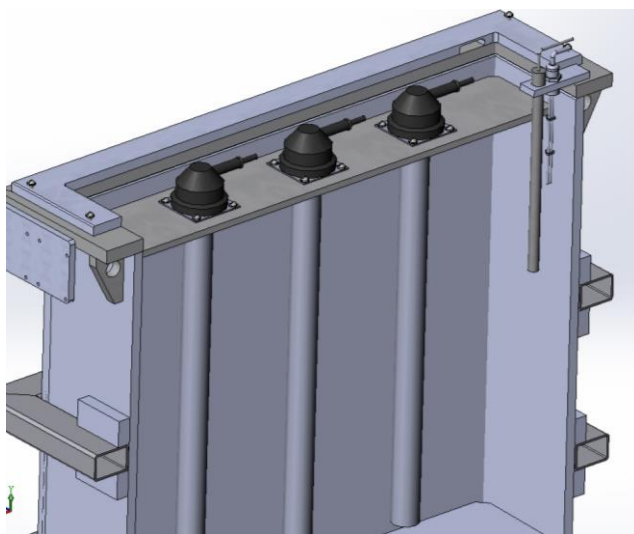


Рис. 1. Электронагреватели в установке покрытия насыпью

В установке покрытия насыпью при процессе цианистого цинкования, цианистого латунирования, цианистого кадмирования используют ТЭНы из углеродистой стали, при процессе никелирования у ТЭНов оболочка из титана.

Так же электронагревательные ТЭНы более компактны и не мешают другим механизмам и навесному оборудованию.

Для предотвращения перегрева или недогрева в установке покрытия насыпью используют датчики температуры. Они сигнализируют на пульт управления о прекращении нагрева установки или автоматическом отключении ТЭНов. Совместно с датчиком температуры устанавливают датчики уровня раствора. Они нужны для того, чтобы защитить электронагреватели от недолива. При низком уровне раствора включенный ТЭН перегорит из-за того, что погружная часть ТЭНа будет находиться над верхним уровнем раствора. Поэтому датчик уровня подгоняют таким образом, чтобы контактная его часть находилась ниже верхней точки погружаемой части ТЭНа.

При нагреве раствора в установке покрытия насыпью происходит испарение в верхней части установки. Пары являются вредными или даже ядовитыми, поэтому необходим отвод испарения. Для этого ис-

пользуют стационарные вентиляционные установки (зонты), которые соединены с вентиляцией цеха предприятия, что является необходимым условием эксплуатации установки покрытия насыпью.

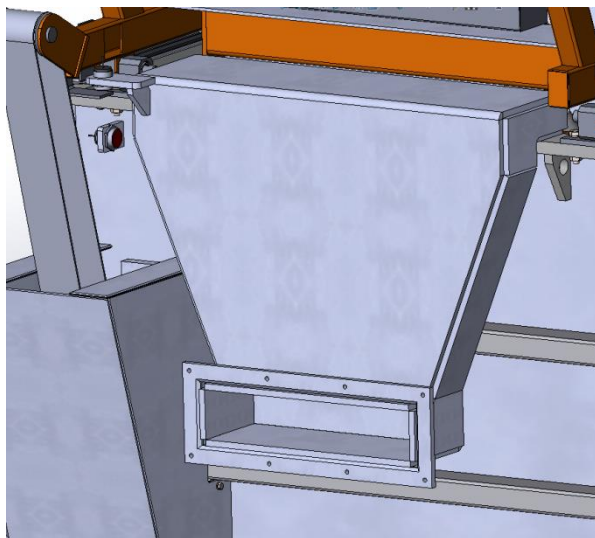


Рис. 2. Вентиляционный зонт установки покрытия насыпью

Список литературы

1. Окулов, В. В. Цинкование. Техника и технология / В. В. Окулов. – М. : Глобус, 2008. – 252 с.
2. Пахомов, П. И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П. И. Пахомов, В. А. Немтинов. – М., 2009. – 123 с.
3. Немтинов, В. А. Об оценке эффективности инвестиционной деятельности при размещении химических производств / В. А. Немтинов, Ю. В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 375 – 382.
4. Горелов, И. А. Компьютерные технологии при решении вопросов развития территорий городских муниципальных образований / И. А. Горелов, В. А. Немтинов // Информационное общество. – 2014. – № 1. – С. 49 – 54.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

Э. С. Мкртчян, Е. А. Нескоромная, О. А. Ананьева, Н. А. Ревякина*

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ
ОКСИДА ГРАФЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО
ПОЛИАНИЛИНОМ, ДЛЯ ЖИДКОФАЗНОЙ СОРБЦИИ
ТОКСИЧНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ**

Вода является одним из важнейших ресурсов на Земле для всех живых организмов. Сточные воды различных производств представляют большую угрозу окружающей среде вследствие присутствия в их составе токсичных поллютантов (органической и неорганической природы). Удаление загрязняющих веществ – актуальная задача, требующая безотлагательного решения.

Существуют различные методы очистки водных объектов, однако наиболее эффективным среди всех является адсорбция, позволяющая удалять вредные примеси практически до нулевых концентраций. Данный метод является не только простым в исполнении, но и экономически целесообразным.

Самыми распространенным природными сорбентами являются активированный уголь и глина (глинистые минералы). Активированный уголь (АУ) используется для адсорбции красителей и других органических соединений в воде [1]. Его получают из материалов естественного происхождения, таких как древесный уголь, скорлупа кокосового ореха, волокно бамбука, рисовая шелуха, апельсиновая корка, скорлупа грецкого ореха и др. [1]. Традиционным адсорбентом для извлечения тяжелых металлов являются глинистые материалы (сепиолит, каолинит, монтмориллонит, смектит, бентонит и цеолит) [2, 3]. Преимуществом использования АУ и глины является дешевизна и простота использования; недостатком – малая эффективность и длительное время процесса очистки [4].

Несмотря на то, что АУ и глинистые материалы нашли широкое применение в очистке водных объектов, их адсорбционные показатели являются недостаточными. Вследствие этого авторами статьи был синтезирован аэрогель на основе графена, модифицированного полианилином.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Е. Буракова.

Синтез графенового аэрогеля состоит из нескольких стадий. На первом этапе синтеза проводили смешение дистиллированной воды с анилином гидрохлоридом и концентрированной соляной кислотой. Параллельно был подготовлен водный раствор персульфата аммония, который добавляли в смесь с растворенным анилином и перемешивали. Следом была добавлена суспензия оксида графена. Полученную смесь промывали водой и водным раствором аммиака для получения нейтрального значения pH. Итогом первого этапа синтеза является получения гидрогеля графена, поверхность которого модифицирована полианилином.

Вторым этапом синтеза является замещение воды в структуре гидрогеля изопропиловым спиртом. Для этого в емкость с изопропиловым спиртом помещали карбонат калия (K_2CO_3) и опускали материал. Результатом взаимодействия K_2CO_3 и H_2O является образование устойчивого гидрата, а на место воды приходит спирт.

Заключительным этапом синтеза аэрогеля является сверхкритическая обработка полученного алкогеля. Для этого в реактор высокого давления заливали изопропиловый спирт, опускали внутрь материал и создали условия для перехода изопропилового спирта в сверхкритический флюид ($T \geq 235,3$ °C и $p \geq 4,76$ МПа).

В результате синтеза был получен аэрогель графена, поверхность которого модифицирована полианилином.

На рисунке 1 представлено СЭМ изображение поверхности полученного материала.

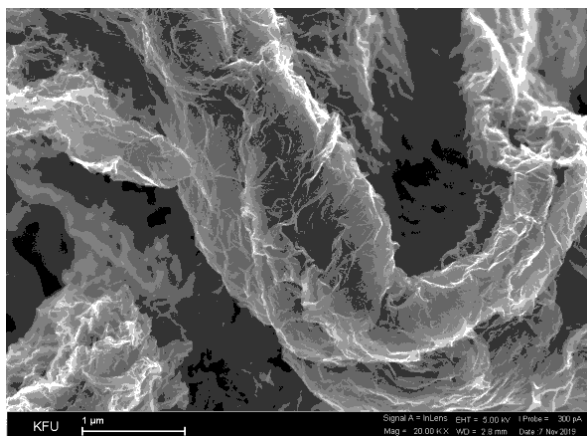


Рис. 1. СЭМ изображение полученного графенового аэрогеля, модифицированного полианилином (масштаб: 1 мкм)

Для проверки сорбционных характеристик синтезированного графенового аэрогеля были использованы растворы метиленового синего (МС), метилового оранжевого (МО) и Zn^{2+} с начальными концентрациями загрязнителя 150 мг/л, 150 мг/л и 100 мг/л соответственно.

На кинетических кривых (рис. 2 – 4) показана эффективность извлечения токсичных поллютантов из водных растворов, используя традиционные сорбенты (АУ, глина), суспензию оксида графена и полученный графеновый аэрогель.

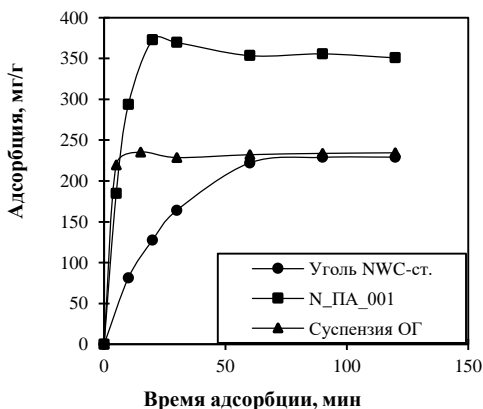


Рис. 2. Кинетическая зависимость сорбции молекул МО

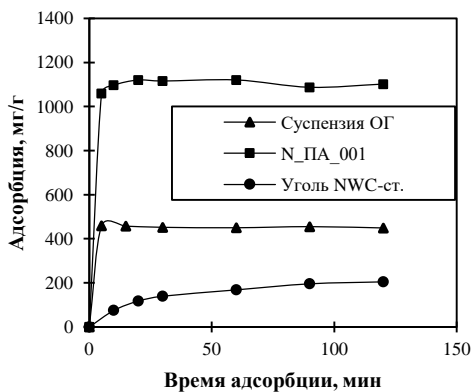


Рис. 3. Кинетическая зависимость сорбции молекул МС

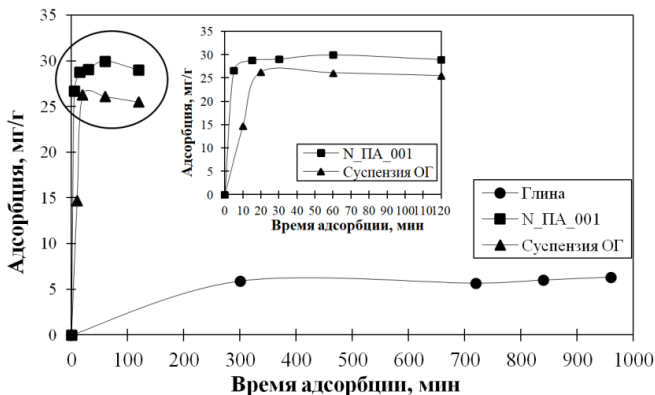


Рис. 4. Кинетическая зависимость сорбции ионов Zn^{2+}

Анализируя кинетические зависимости, полученные в ходе адсорбционных исследований (рис. 2 – 4), можно отметить, что полученный композиционный аэрогель является универсальным высокоэффективным сорбентом, позволяющим извлекать загрязнители как органической, так и неорганической природы за короткие промежутки времени. Установлено, что адсорбционная емкость при извлечении молекул МО составляет ~ 369 мг/г при начальной концентрации 150 мг/л; для молекул МС ~ 1120 мг/г при начальной концентрации 150 мг/л; для ионов Zn^{2+} ~ 30 мг/г при начальной концентрации 100 мг/л.

Список литературы

1. Natural polysaccharides-modified graphene oxide for adsorption of organic dyes from aqueous solutions / Y. Qi, M. Yang, W. Xu et al. // Journal of Colloid and Interface Science. 486. – 2017. – P. 84 – 96.
2. Adsorption of heavy metals from aqueous media on graphene-based nanomaterials / E. Galunin, I. Burakova, E. Neskornnaya et al. // AIP Conference Proceedings. 2041. – 2018. – 020007.
3. Removal of hazardous dyes-BR 12 and methyl orange using graphene oxide as an adsorbent from aqueous phase / D. Robati, B. Mirza, M. Rajabi et al. // Chemical Engineering Journal. 284. – 2015. – P. 687 – 697.
4. A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity / S. Hokkanen, A. Bhatnagar, M. Sillanpää // Water Research. 91. – 2016. – P. 156 – 173.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопроductов»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*М. Д. Мордасов, Д. М. Мордасов, В. С. Верченов**

**ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

В настоящее время повышение физико-механических свойств бетонов и полимербетонов является актуальной задачей при производстве строительных материалов. Известно, что введение тонкодисперсных наполнителей в полимер-минеральные и полимербетонные строительные материалы способствует повышению физико-механических свойств и экономичности строительных материалов.

В качестве модифицирующих добавок в бетонные смеси вводят пластификаторы, суперпластификаторы, стабилизирующие добавки. Так же для улучшения физико-механических свойств используют различные тонкодисперсные нанонаполнители. Модификация материала такими наполнителями способствует созданию необходимых реологических свойств, которые в свою очередь позволяют достигнуть максимальной удобоукладываемости и плотноупакованной структуры твердения. В настоящей работе рассматривается влияние аморфного кремнезема (трепела) на физико-механические свойства полимер-минерального композиционного материала на основе цемента, эпоксидной смолы и нанодисперсии сополимера стирола и акриловой кислоты [1, 2].

Трепел представляет собой опаловую породу осадочного происхождения, имеющую рыхлую структуру, представленную некрупными опаловыми глобулами, а также примесями глины, кварца и полевого шпата.

При нормальных условиях поровое пространство трепела заполнено влагой, и его эффективность невысока. Влага была удалена путем термической обработки, способствующей увеличению удельной поверхности и существенному повышению адсорбционной способности частиц [3, 4].

Исследованы образцы с содержанием C аморфного кремнезема 5, 7, 10, 20, 30% от содержания цемента. На рисунке 1 изображен график

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. М. Мордасова.

зависимости модуля упругости при растяжении образцов от концентрации трепела.

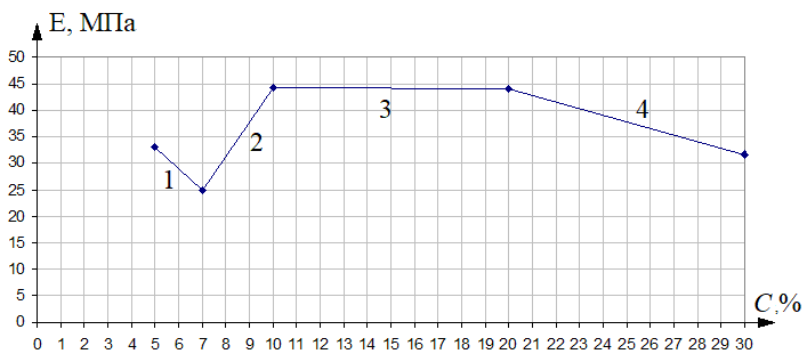


Рис. 1. График зависимости модуля упругости от содержания аморфного кремнезема

При испытании образцов полимер-минерального материала на растяжение на участке 1 наблюдается спад значений модуля упругости (рис. 1), это объясняется тем, что данного количества трепела недостаточно для упрочнения полимерцементной матрицы, но частицы тонкодисперсного наполнителя уже образовали центры полимеризации, что уменьшает прочность материала.

На участке 2 происходит рост модуля упругости и при содержании аморфного кремнезема 10% от массы цемента наблюдается достижение наибольшего значения модуля упругости.

На участке 3 значение модуля упругости практически не изменяется, а на участке 4 идет спад, следовательно, введение большего количества тонкодисперсного наполнителя не способствует увеличению прочностных характеристик.

Аналогично выглядит график зависимости прочности при максимальном усилии растяжения от содержания аморфного кремнезема (рис. 2).

Максимальное значение наблюдается при содержании аморфного кремнезема 10% от содержания цемента.

На рисунке 3 показана зависимость деформации при максимальном усилии растяжения от концентрации трепела в составе полимер-минерального композиционного материала. На участке 1 концентрации трепела недостаточно для упрочнения матрицы, но так как трепел является тонкодисперсной добавкой, происходит увеличение пластич-

ности материала. На участке 2 наблюдается деградация пластичности материала. Это связано с упрочнением полимерцементного каркаса за счет равномерного распределения частиц тонкодисперсного наполнителя. На участке 3 значительного изменения характеристик не наблюдается, а на участке 4, несмотря на небольшой рост пластичности материала, происходит снижение прочностных характеристик (рис. 1), следовательно, введение большего количества тонкодисперсного наполнителя нецелесообразно.

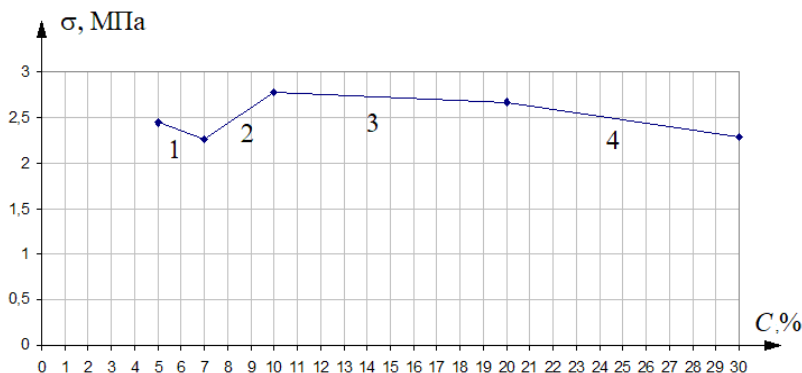


Рис. 2. График зависимости прочности при разрушении от содержания аморфного кремнезема

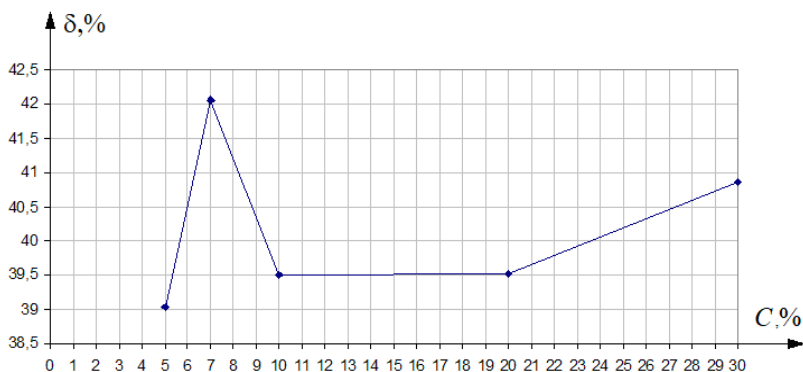


Рис. 3. График зависимости деформации при максимальном усилии от содержания аморфного кремнезема

Таким образом, в ходе проведения исследований выявлено, что при использовании трепела в качестве тонкодисперсного наполнителя в полимер-минеральном композиционном материале в диапазоне его процентного содержания от 5 до 30% существует оптимальное значение 10%. Резкое повышение модуля упругости и прочности при разрушении при этой концентрации свидетельствует об образовании большого количества центров полимеризации, что косвенно указывает на однородность взаимного распределения компонентов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Тамбовской области в рамках научного проекта № 19-43-680003.

Список литературы

1. Исследование структуры полимерного композиционного материала на основе смолы ЭД-20 и нанодисперсии сополимера стирола и акриловой кислоты / Д. М. Мордасов, М. Д. Мордасов, П. В. Макеев, Д. Л. Полушкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 136 – 141.

2. Мордасов, М. Д. Исследование структуры полимерного композиционного материала / М. Д. Мордасов, Д. М. Мордасов // Семьдесят первая Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сб. материалов конф. – В 3-х частях. – 2018. – С. 464 – 466.

3. Мордасов, М. Д. Особенности структурных изменений трепела при его термической обработке / М. Д. Мордасов, А. В. Никитин, Д. Л. Полушкин // XVII Всероссийская с международным участием школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А. Г. Мержанова : сб. науч. материалов. – 2019. – С. 139 – 141.

4. Мордасов, Д. М. Применение кремнезема в составе полимер-минерального композита / Д. М. Мордасов, М. Д. Мордасов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы XII Междунар. науч.-инновац. молодежной конф. – 2020. – С. 93–94.

Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*А. И. Скоморохова**

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Композиционные материалы находят широкое применение практически во всех областях промышленности. Это гетерогенные материалы, имеющие в своем составе два или более взаимно нерастворимых компонентов. Интерес к ним обусловлен тем, что композиты отличаются наличием большого набора полезных, а в некоторых отношениях, и уникальных свойств, которые дают им преимущество в сравнении с традиционными конструкционными материалами. Интерес к ним обусловлен возможностью подбора оптимальных физико-механических свойств для конкретного изделия, причем получаемые характеристики могут значительно превосходить характеристики обычных материалов.

Пористый материал можно рассматривать как композит, у которого в качестве одного из компонентов выступает пустота в виде пор, полостей или каналов. Помимо непосредственного применения таких материалов в качестве фильтров, демпфирующих и теплоизоляционных материалов, на основе таких материалов можно создавать широкий ассортимент композитов со свойствами, получаемыми в результате заполнения свободного пространства определенными компонентами. Все это делает вопрос изготовления изделий из пористых материалов достаточно актуальным и перспективным для дальнейшего рассмотрения.

Наглядно изучать и формировать требуемые параметры пористого материала позволяет технология трехмерной печати посредством которой можно создавать различные экспериментальные модели для дальнейшей оценки присущих им свойств и механического поведения в процессе изготовления и эксплуатации. Особое место в комплексе физико-механических свойств таких материалов занимают модули упругости. Их значения во многом определяют сферу использования рассматриваемого материала. Расчет модулей упругости позволит сократить затраты времени и средств на проектирование и испытание

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. О. Глебова.

изделий, а также сделает возможным провести достоверную оценку эффективности и надежности в эксплуатационных условиях.

Чаще всего, для создания пористой структуры неметаллических деталей применяется программное обеспечение 3D-принтеров на этапе подготовки управляющей программы. В этой связи актуальна задача предсказания механических свойств изделия в зависимости от типа и процента внутреннего заполнения.

Сложность расчетов заключается в том, что модули упругости гетерогенной среды меняются скачкообразно при прохождении через поверхность раздела. Например, прямое использование метода конечных элементов для анализа напряженно-деформированного состояния тел с внутренней пористой структурой приводит к чрезмерному объему вычислений, поскольку шаг дискретизации расчетной области на конечные элементы должен быть соизмерим с толщиной твердофазного каркаса. Кроме того, даже трехмерное геометрическое моделирование подобных тел сопряжено со значительными трудностями.

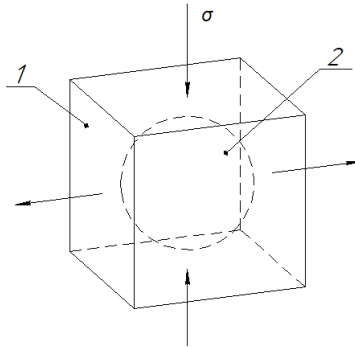
Для решения этих проблем применяется гипотеза континуума, суть которой заключается в статистическом осреднении свойств на некотором масштабе длины. При этом масштаб неоднородности (характерный размер пор) должен быть значительно меньше масштаба длины осреднения [1]. Полученные таким образом осредненные упругие свойства называются эффективными. В связи с этим представляет интерес исследование влияния масштаба длины осреднения на точность определения эффективных модулей упругости по континуальной гипотезе.

При работе с пористыми материалами необходимо выявление зависимости их эффективных модулей упругости от параметров пористой структуры, таких как средняя плотность, форма и распределение пор по размерам [2].

Исследование упругих свойств таких материалов требует нахождения эффективных модулей объемного сжатия (растяжения) и сдвига. С этой целью решаются задачи об упругом деформировании некоторого выделенного объема в материале (представительной ячейки) под действием всестороннего сжатия и чистого сдвига.

Идеализированную модель представительной ячейки можно изобразить как показано на рис. 1.

Эта модель соответствует пористому материалу со сферическими полостями, подвергнутому чистому сдвигу, возникающему под действием поверхностных напряжений σ в двух взаимно перпендикулярных направлениях.



**Рис. 1. Идеализированная модель чистого сдвига
представительной ячейки:**

1 – твердая фаза; 2 – сферическая полость

Моделирование условий всестороннего сжатия пористого материала также является сложной задачей из-за того, что различные точки представительной ячейки в реальности будут деформироваться неодинаково. Поэтому представленная модель хорошо подходит для экспериментальных исследований, но теоретические расчеты будут довольно сложными и сопровождаться значительными допущениями и погрешностями.

Достаточно удобная расчетная модель описывается в работе [3]. Для выявления расчетных зависимостей при всестороннем сжатии (растяжении) авторы предлагают представлять тело с пористой структурой в виде элементарного объема, у которого твердая фаза образует связанный непрерывный каркас с хаотично ориентированными цилиндрическими пустотами, которые испытывают однородную деформацию. Для описания процесса чистого сдвига предполагается, что представительная ячейка кубической формы имеет в центре объема полость в виде куба. Это позволило получить следующие соотношения для определения эффективных модулей объемного сжатия и сдвига:

$$K = \frac{4}{3} \mu_0 \frac{(1 + \nu_0) \alpha}{2(1 - 2\nu_0) + (1 + \nu_0)(1 - \rho)}, \quad (1)$$

$$\mu = \rho \mu_0, \quad (2)$$

где ν_0 – коэффициент Пуассона; α – доля деформируемого объема, равная отношению деформируемого объема к полному объему пори-

стого тела; ρ – относительная плотность; μ_0 – модуль сдвига материала, Па.

Формула (2) выведена из условия равенства потенциальных энергий деформаций представительной ячейки и ее аналога с эффективными свойствами.

Прогнозирование упругих свойств с применением этих зависимостей дало результаты, достаточно близкие к данным, полученным экспериментальным путем, что подтверждает справедливость такой методики расчета эффективных модулей упругости для некоторых пористых материалов.

Очевидный недостаток аналитических методов расчета эффективных модулей упругости связан с вынужденным упрощением геометрии представительной ячейки. Например, аналитический расчет всестороннего сжатия кубической ячейки со сферической полостью вызывает серьезные затруднения, преодолеть которые можно с использованием численных методов.

Широкое разнообразие пористых материалов требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований, которые позволят разработать новые методики расчета для выявления зависимостей и дальнейшего прогнозирования упругих свойств материалов с пористой структурой, отличной от рассмотренной в статье.

Список литературы

1. Christensen, R. M. Mechanics of Composite Materials / R. M. Christensen. – NY etc. : Wiley, 1979.
2. Андрейко, О. С. Исследование влияния параметров пористости среды на эффективный модуль упругости / О. С. Андрейко, Ю. Н. Сидоренко // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики : материалы VIII Всерос. молодежной науч. конф. – Томск : Изд-во Национального исследовательского Томского государственного университета, 2019. – С. 48 – 58.
3. Краснощеков, П. И. Упругие модули изотропных порошковых и пористых материалов / П. И. Краснощеков, А. Ф. Федотов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Физико-математические науки. – Самара : Изд-во Самарского государственного технического университета, 2006. – № 43. – С. 81 – 87.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Ю. С. Поветкина, М. А. Фунбаю, А. А. Чуприкова**

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

Резина отличается от других технических материалов уникальным комплексом свойств, из которых главное – высокая эластичность. Это свойство, присущее каучуку – основному компоненту резины, делает ее незаменимым конструкционным материалом в современной технике. В отличие от металлов, пластмасс, дерева, кожи и других материалов, резина способна к очень большим, практически полностью обратимым деформациям под действием относительно небольших нагрузок. Эластические свойства резины сохраняются в широком интервале температур и частот деформаций, причем деформация устанавливается в относительно короткие промежутки времени. Модуль упругости резины при комнатной температуре находится в пределах $10 \dots 100$ кгс/см² (модуль упругости стали $2\ 000\ 000$ кгс/см²).

Важной особенностью резины является также релаксационный характер деформации. Резина отличается крайне малой объемной сжимаемостью и большой величиной коэффициента Пуассона, составляющей $0,4 \dots 0,5$ (для стали $0,25$). Исключительная способность к высокоэластической деформации и высокая усталостная прочность резины сочетаются с рядом других ценных технических свойств: значительная износостойкость, прочность на разрыв и удар, хорошее сопротивление порезам и их разрастанию, газо-, воздухо-, водонепроницаемость, бензо- и маслостойкость, малая плотность (немногим более единицы), высокая химическая стойкость, диэлектрические свойства и др. Благодаря неповторимой совокупности технических свойств резина стала одним из важнейших конструкционных материалов для автомобильного, авиационного и других видов транспорта, машиностроительной и других отраслей промышленности, для сельского хозяйства, а также для производства изделий санитарии и гигиены и предметов народного потребления.

От долговечности и надежности резиновых изделий в значительной мере зависит технический прогресс во многих отраслях промышленности. Так, например, от качества автомобильных шин существен-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» Д. О. Завражина.

но зависят оптимальные скорости и безопасность движения, грузоподъемность, проходимость, экономия топлива, экономичность работы автомобиля в целом, а также другие параметры его работы. Качеством резиновых уплотнителей предопределяется совершенство герметизации узлов машин и агрегатов, включая морские суда, космические корабли и т.п.

Если исходить из того, что одно дерево бразильской гевеи в среднем, до недавнего времени, было способно давать лишь 2...3 кг каучука в год; годовая производительность одного гектара гевеи до Второй Мировой войны составляла 300...400 кг технического каучука. Такие объемы натурального каучука не удовлетворяли растущие потребности промышленности, поэтому возникла необходимость получить синтетический каучук. Замена натурального каучука синтетическим дает огромную экономию труда.

Исходным сырьем в получении каучуков является сырая нефть, которую разделяют на фракции (углеводороды определенного размера) и далее уже используют в синтезе необходимых мономеров. Мономеры используют для производства синтетических каучуков различными методами полимеризации.

В работе были исследованы сравнительные характеристики резин, полученных на основе натурального и синтетического каучуков.

Состав резиновой смеси № 1 (на натуральном каучуке): НК SVR-3L, сантофлекс,ДФГ, стеарин, 2-меркаптобензтиазол, белила цинковые, мел, СВОЗ – 60, вазелин ветеринарный, углерод К354, масло, литопон, сера.

Состав резиновой смеси № 2 (на синтетическом каучуке): СКС – 30АРКМ – 15, нафтам – 2,ДФГ, стеарин, 2-меркаптобензтиазол, белила цинковые, мел, СВОЗ – 60, вазелин ветеринарный, углерод П803 и П 324, сера.

Физико-механические свойства обеих смесей были исследованы в соответствии с ГОСТ [1 – 3].

Как видно из таблицы, наблюдается достаточная воспроизводимость свойств материалов от партии к партии. При этом, каждая партия соответствует нормам по своим свойствам.

Свойства резиновой смеси на синтетическом каучуке несколько отличаются от свойств смеси, полученной на натуральном каучуке. Тем не менее, некоторые свойства достаточно близки, что позволяет применять резину на синтетическом каучуке в ряде случаев как альтернативу натуральным каучукам. В том числе, применение синтетических каучуков позволит снизить стоимость конечных продуктов.

1. Физико-механические свойства резиновых смесей на натуральном и синтетическом каучуке

Наименование показателей	Ед. изм.	Резиновая смесь № 1				Резиновая смесь № 2			
		норма	Факт			норма	Факт		
			партия 1	партия 2	партия 3		партия 1	партия 2	партия 3
Условная прочность при растяжении	МПа	н/м 11,8	22,7	21,0	21,4	н/м 4,9	10,2	11,6	10,9
Относительное удлинение при разрыве	%	н/м 500	720	680	700	н/м 160	550	430	460
Изменение показателей после старения в воздухе за 24 ч. При 100 °С, % – относительное удлинения при разрыве	%	от 0 до –30	–5,6	–5,9	–4,3	от –10 до –50	–40,4	–34,9	–37,0
Время начала подвулканизации на приборе типа Муни	мин	5...16	9	10	10	6...25	16	15	12
Относительная остаточная деформация	%	н/б 35	16	16	16	н/б 35	16	12	16
Коэффициент морозостойкости при минус 40 °С		н/м 0,65	0,94	0,93	0,84	н/м 0,3	0,68	0,67	0,67

Список литературы

1. ГОСТ 270–75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении.
2. ГОСТ 408–78. Резина. Методы определения морозостойкости при растяжении.

3. ГОСТ 10722–76. Каучуки и резиновые смеси. Метод определения вязкости и способности к преждевременной вулканизации.

4. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Е. Галыгин, Г. С. Баронин, В. П. Таров, Д. О. Завражин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 180 с.

*Кафедра «Материалы и технология»,
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 678

М. А. Фунбаю, Ю. С. Поветкина, А. А. Чуприкова*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

Изготовление резиновых смесей – один из наиболее сложных, ответственных и энергоемких процессов производства резиновых изделий. Здесь используется большое количество разнообразного, сложного и дорогостоящего оборудования с высокой степенью автоматизации. Основной задачей работы оборудования является получение необходимого количества высококачественных резиновых смесей путем смешения каучука (эластомера) с многими ингредиентами. Резиновая смесь – это однородная многокомпонентная система на основе эластомера, используемая для изготовления резиновых изделий. Рассмотрим технологическую схему изготовления резиновой смеси в резиносмесителе РС-71/17.

Перед изготовлением резиновой смеси в резиносмесителе проводят подогрев с помощью пластикации каучука. Режим пластикации каучука приведен в табл. 1.

Подогрев резиносмесителей проводят при температуре окружающего воздуха ниже плюс 10 °С и при температуре в смесительной камере ниже плюс 18 °С один раз в смену перед началом работы. Охлаждение резиносмесителя после изготовления пластиката, не менее: при температуре окружающего воздуха ниже плюс 10 °С – 8 минут; при температуре окружающего воздуха выше плюс 10 °С – 20 минут. Температура охлаждающей воды не более 18 °С.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. О. Завражина.

Таблица 1

Последовательность ввода материалов и наименование операции	Резиносмеситель РС-71/17	
	время начала операции с момента загрузки каучука, мин	продолжительность операции, мин
Загрузка каучука СКС-30АКРМ-15 (СКМС-30АКРМ-15)* и пластикация	0	3...5
Выгрузка каучука	4...6	1
Общее время пластикации, мин	5...7	

* В зимний период, перед изготовлением резиновой смеси, каучук распаривают. Распарка проводится в распарочной камере при температуре 60 °С в течение часа.

Допускаемое отклонение времени загрузки $\pm 0,1$ минуты. Смешение проводят при закрытом верхнем затворе и под давлением сжатого воздуха не менее 0,4 МПа. Масса каучука СКС-30АКРМ-15 (СКМС-30АКРМ-15), загружаемого в резиносмеситель РС-71/17, составляет $45,0 \pm 0,1$ кг.

Одним из основных технологических показателей является способность резин к преждевременной вулканизации. Для определения начала и скорости вулканизации согласно ГОСТ 10722–76 проводят следующие испытания.

Каждый образец должен состоять из двух дисков диаметром 45...50 мм и толщиной 6...8 мм. Один из дисков должен иметь в центре отверстие диаметром 10...12 мм для стержня ротора. Диски изготовляют вырубными ножами из пластин резиновой смеси. Режим обработки пластин должен обеспечить монолитность материала и отсутствие в нем воздушных включений.

Режим обработки и время выдержки пластин перед испытанием устанавливают в нормативно-технической документации на испытуемый материал.

Образцы для испытания хранят при температуре окружающей среды без нагрузки, не укладывая один на другой.

Закрытую испытательную камеру с ротором нагревают до заданной температуры. Температуру испытания устанавливают в нормативно-технической документации на испытуемый материал. При отсут-

ствии указаний в нормативно-технической документации время начала подвулканизации и скорость подвулканизации определяют при 120 или 140 °С.

Усилие закрытия испытательной камеры устанавливают в соответствии с нормативно-технической документацией на испытуемый материал. При наличии в приборе устройства для регулирования усилия закрытия испытательной камеры устанавливают усилие $(11,5 \pm 0,5)$ кН $[(1175 \pm 51)$ кгс].

Образец в закрытой камере прогревают при температуре испытания в течение времени, установленного в нормативно-технической документации на испытуемый материал. При отсутствии в нормативно-технической документации соответствующих указаний, образец прогревают в течение 1 мин, после чего приводят во вращение ротор.

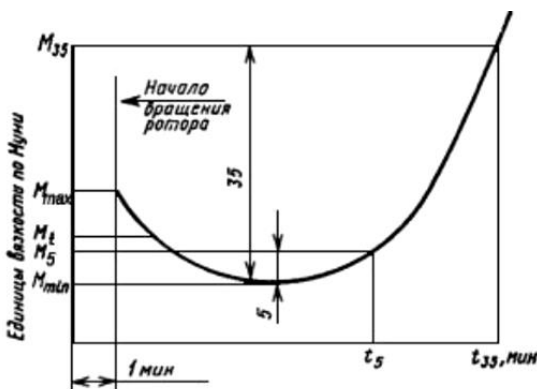


Рис. 1. Зависимость вязкости резиновых смесей от времени вулканизации, где M_t — вязкость [1]

Способность резиновых смесей к преждевременной вулканизации характеризуют началом и скоростью подвулканизации. Для определения начала и скорости подвулканизации регистрируют показатели M_{\max} и M_t , характеризующие время в минутах от начала испытания, при котором вязкость образца превышает минимальную M_{\min} соответственно на 5 и 35 единиц (рис. 1, M_{35} и M_5).

При определении способности резиновых смесей к преждевременной вулканизации продолжительность предварительного прогрева образца учитывают как время испытания; испытание проводят до тех пор, пока вязкость не превысит минимального значения M_{\min} на 40 единиц по Муни.

Если вязкость образца через 45 мин от начала испытания не превысит минимальную на 40 единиц, испытание заканчивают и проводят экстраполяцию кривой зависимости показателя вязкости от продолжительности испытания до значения вязкости, равного $M_{\min} + 35$ единиц.

При отсутствии в приборе автоматической записи вязкости последнюю следует регистрировать не реже чем через каждую минуту. При этом за показаниями по шкале следят в интервале ± 15 с от заданного времени и регистрируют самое низкое значение вязкости, полученное в этом интервале времени.

Начало подвулканизации резиновой смеси характеризуют временем t_5 в минутах. Скорость подвулканизации Δt выражают в минутах и вычисляют по формуле $\Delta t = t_{35} - t_5$.

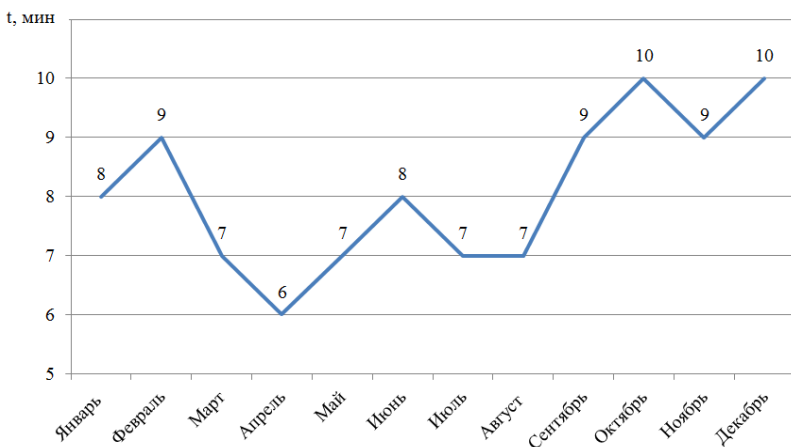


Рис. 2. Средние показатели времени начала подвулканизации резиновой смеси за 2019 г.

Как видно на графике, в зимний период наблюдается увеличение показателя времени начала подвулканизации резиновой смеси. Мы можем предположить, что это связано с применением технологии распарки каучука, которую проводят только в зимнее время.

Предположительно, следующим фактором, влияющим на показатель, являются погодные условия. Повышенная влажность воздуха может влиять на влажность сырья, используемого в изготовлении резиновой смеси, что также отражается на изменении времени начала подвулканизации резиновой смеси. Это можно заметить на графике средних показателей за апрель 2019 г.

Следует отметить, что на показатель времени начала подвулканизации резиновой смеси также влияют: человеческий фактор, износ оборудования, погрешность измерительных приборов, качество сырья.

Список литературы

1. ГОСТ 10722–76. Каучуки и резиновые смеси. Метод определения вязкости и способности к преждевременной вулканизации.
2. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Е. Галыгин, Г. С. Баронин, В. П. Таров, Д. О. Завражин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 180 с.

*Кафедра «Материалы и технология»,
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 678

*А. А. Чуприкова, Ю. С. Поветкина, М. А. Фунбаю**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФТОРОПЛАСТА Ф-42 ПОСЛЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ СВЧ-ОБРАБОТКИ

Одним из основных технологических процессов в различных отраслях является термообработка. Широкое распространение (в том числе и в научных исследованиях) получила термообработка за счет энергии электромагнитных колебаний сверхвысоких частот (СВЧ).

Микроволновое электромагнитное поле как источник энергии для обработки диэлектрических сред, материалов и изделий используется со второй половины XX века. За последние десятилетия были проведены различные исследования теплового воздействия микроволнового электромагнитного поля на диэлектрические материалы.

Микроволновый нагрев является альтернативой кондуктивному механизму теплопередачи. Преимуществом микроволнового нагрева является прямой нагрев объема материала и его скорость, а также возможность избирательного нагрева в объеме композита.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. О. Завражина.

Применение СВЧ-нагрева и перспективы его развития стимулируются рядом причин:

- интенсификацией процесса термообработки за счет объемного нагрева изделия из-за проникновения электромагнитной волны в его глубину;
- высоким качеством нагрева как за счет большой равномерности тепловыделения, отсутствия загрязнения изделия в процессе тепловой обработки;
- высокой точностью управления технологическим процессом благодаря возможности точного дозирования СВЧ-энергии;
- высокой стабильностью энергетического потока вследствие отсутствия инерционности при варьировании его мощности.

Эффективность микроволнового нагрева определяется дипольной поляризацией материала и его проводимостью. Эти факторы также являются недостатками микроволнового нагрева.

Использование микроволн в полимерной технологии позволяет значительно повысить эффективность обработки и улучшить характеристики материалов. В ряде работ показана эффективность СВЧ при полимеризации, при вулканизации резины, СВЧ можно использовать для соединения и сварки пластмассовых деталей.

При взаимодействии СВЧ-излучения с полимерами повышается качество готовых изделий, уменьшается влияние термомеханических эффектов, механическая прочность увеличивается в 2 раза [1 – 4].

Для исследования нетеплового воздействия микроволнового СВЧ-излучения удобно использовать полярные термопластичные и термореактивные диэлектрики, в которых преобладает аморфная структура. Технические и технологические характеристики полимерных материалов определяются их молекулярной структурой. Важны все три вида структур полимерных материалов, так как механизмы воздействия электромагнитного микроволнового излучения СВЧ на полимеры с различной молекулярной структурой, очевидно, будут отличаться.

Целью нашего исследования является разработка технологии нетепловой СВЧ-модификации.

Речь идет о таком воздействии СВЧ электромагнитных колебаний на разрешенных в СВЧ-электротехнологии частотах, при котором обрабатываемый объект, находясь в СВЧ электромагнитном поле короткое время, нагревается незначительно или не нагревается вовсе. При этом у него появляются новые, представляющие практический интерес технологические свойства.

В качестве объекта исследования использовался фторопласт марки Ф-42 (ГОСТ 25428–82). Отличительной особенностью Ф-42 является его полярность, т.е. он предрасположен к СВЧ-нагреву. В работе планируется определить режимы нетепловой модификации образцов Ф-42.

СВЧ-обработка проводилась в камере с частотой излучения магнетрона 2450 МГц. Выходная мощность изменялась от 10 до 100% с максимальным значением 700 Вт. Образец размещался на расстоянии 5 см от волновода и попадал под прямое воздействие потока СВЧ-излучения. В качестве балластной нагрузки использовалась вода объемом 200 мл.

Как видно из табл. 1, выходная мощность СВЧ-генератора значительно влияет на скорость нагрева материала. В ряде источников оптимальное время нетеплового СВЧ-облучения определяется в диапазоне от 30 до 50 секунд. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что при обработке полярных пластмасс необходимо снижать выходную мощность СВЧ-генератора.

1. Кинетика нагрева образцов Ф-42 в СВЧ-электромагнитном поле в течение 10 сек

Мощность СВЧ облучения, Вт	Температура, °С
10% (70 Вт)	32
30% (210 Вт)	60
50% (350 Вт)	81
80% (560 Вт)	89
100% (700 Вт)	96

Исследование деформационных и прочностных свойств при растяжении проводилось на универсальной испытательной машине УТС 101-5 с использованием механических захватов. Скорость перемещения зажимов составляла 20 мм/мин. Исследования проводились при температуре $T = 20$ °С.

Твердость образцов определялась методом Шора по шкале D при 20 °С.

2. Физико-механические характеристики образцов Ф-42 в зависимости от времени СВЧ-облучения

	Предел текучести при растяжении, МПа	Деформация при пределе текучести, %	Предел прочности, МПа	Деформация при пределе прочности, %
исх, 0 сек	19,1	12,6	29,1	159
10% (70 Вт)	18,9	6,3	30,2	120
30% (210 Вт)	16,5	6,1	26,4	115
50% (350 Вт)	12,9	6,1	13,8	231
80% (560 Вт)	16,4	9,4	26	98
100% (700 Вт)	14,9	6,1	25,2	103

На основании полученных данных можно сделать вывод о влиянии СВЧ-облучения на физико-механические свойства материала. Однако полученные данные говорят о негативном влиянии СВЧ-обработки. Так, мы наблюдаем снижение прочности материала и его охрупчивание (снижается относительное удлинение образцов при растяжении) (табл. 2).

При этом, твердость материалов повысилась одинаково, вне зависимости от времени СВЧ-обработки.

3. Твердость образцов Ф-42 по Шору D

	Значение твердости по Шору, D, ед.
10% (70 Вт)	60
30% (210 Вт)	64
50% (350 Вт)	66
80% (560 Вт)	65
100% (700 Вт)	63
10% (70 Вт)	65

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №19-43-680001 р_а.

Список литературы

1. Влияние СВЧ-излучения на формирование структурно-механических свойств модифицированных полимер-углеродных материалов при твердофазной экструзии / Г. С. Баронин, Д. О. Завражин, А. Г. Попов, М. С. Толстых // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Математика. Физика. – 2011. – Т. 23, № 11. – С. 123 – 128.

2. Патент на изобретение RU 2350464 С1 27.03.2009. Способ формования термопластов. Заявка № 2007123083/12 от 19.06.2007 / Г. С. Баронин, В. М. Дмитриев и др.

3. Завражин, Д. О. Влияние СВЧ-излучения на формирование структуры с улучшенными физико-механическими характеристиками модифицированных полимер-углеродных материалов при твердофазной обработке давлением / Д. О. Завражин, А. Г. Попов // Перспективные материалы. – 2011. – № 11. – С. 389 – 395.

4. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Е. Галыгин, Г. С. Баронин, В. П. Таров, Д. О. Завражин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 180 с.

*Кафедра «Материалы и технология»,
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 535.016

*Н. В. Венцерева**

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ФАНТОМОВ ДЛЯ НУЖД ОПТИЧЕСКИХ ТОМОГРАФОВ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СКАНЕРОВ

Ежедневно в диагностические центры за услугами ультразвукового сканирования обращаются тысячи людей. Из-за высокой нагрузки необходимо следить за контролем технического состояния ультразвуковых сканеров, как текущего, так и планового.

Оптическая томография имеет меньший охват потребителей в диагностических центрах, однако в исследовательской и лабораторно-испытательной деятельности методы оптической томографии пользуются высоким спросом.

Актуальность и востребованность разработки обусловлена тем, что оптические и ультразвуковые методы диагностики привлекают все больший интерес за счет неинвазивности при их применении.

Рынок тест-объектов для данного вида оборудования очень мал и представлен в основном дорогостоящими зарубежными разработками.

Таким образом, для успешного развития этих многочисленных методик необходимо разработать экономически доступный фантом, способный контролировать большое количество параметров.

При качественной разработке фантома важно учесть показатели оптических параметров слоев или различных включений и показатели преломления на границах раздела сред (внутри фантома и на границе воздух/фантом). Для мягких тканей такой показатель преломления считается равным от 1,33 до 1,50.

Так же важно учесть совместимость компонентов. Например, многие широко используемые рассеивающие среды являются коллоидными системами, и при взаимодействии с неверно выбранным растворителем могут агрегировать и изменить рассеивающие свойства. Кроме химической стабильности, особое внимание стоит уделить стабильности спектральных характеристик, геометрии, оптическим, акустическим и механическим свойствам [1].

* Работа выполнена под руководством канд. тех. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Ю. Потлова.

Заделом в данной области является разработка и исследование многослойных тканеимитирующих фантомов на основе двухкомпонентного силикона с добавлением черной Китайской туши, диоксида титана, наночастиц диоксида кремния для имитации оптических и акустических свойств биологической ткани с возможностью прокачки жидкости внутри полых сфер, имитирующей кровеносные сосуды для расширения возможностей контроля технического состояния оптических томографов и ультразвуковых сканеров.

Рассеивающие частицы, такие как порошок диоксида титана, не растворяются в полимерах и отличаются высокой термостойкостью при самых жестких условиях обработки. Размер частиц обычно составляет от 20 до 200 нм, а коэффициент преломления варьируется от 2,4 до 2,6. По результатам исследований, диоксид титана лучше рассеивает свет внутри биоткани, чем оксид цинка, или просто двухкомпонентный силикон (рис. 1).

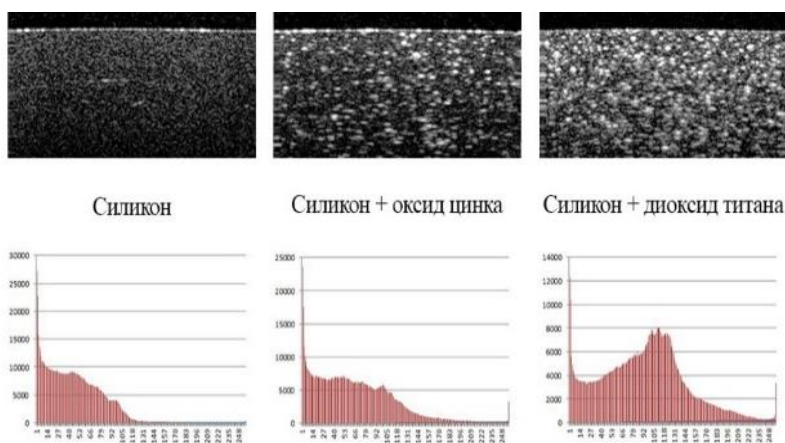


Рис. 1. Сравнение рассеивающих свойств диоксида титана, оксида цинка и двухкомпонентного силикона

Поглощение света в тканеимитирующих фантомах моделируется путем воспроизведения значения коэффициента поглощения μ_a . В большинстве случаев достаточно описать распространение света лишь на одной длине волны, что значительно увеличивает число красителей, которые возможно использовать при создании фантома. Такие красители должны обладать заметным поглощением на интересующей длине волны и быть растворимыми в базовом веществе фантома. Для решения этой задачи могут подойти красители для микроскопии,

они поглощают свет в видимой и ближней инфракрасной областях и растворимы в воде. К таким красителям относится черная Китайская тушь, метиленовый синий, синий Эванса, индоциановый зеленый, этиловый оранжевый, трипановый синий.

К акустическим свойствам биологических тканей относятся: скорость распространения волн, коэффициент затухания [2].

Для ультразвуковой визуализации фантому нужны добавки в виде наночастиц диоксида кремния, сахарной пудры или измельченного песка.

Благодаря научно-техническому прогрессу появляются новые материалы и технологии изготовления тест-объектов. К ним можно отнести фантомы, использующие технологии 3D-печати при изготовлении. Например, создание стенок сосудов или моделирование патологий.

Предлагаемый фантом состоит из 6 слоев, имитирующих оптические, механические, акустические и геометрические свойства кожи (рис. 2).

Для изготовления слоев, имитирующих эпидермис и дерму, смесь из эпоксидной смолы, диоксида титана и черной китайской туши нужно смешать с помощью вортекса или магнитной мешалки в течение 20 минут для удаления частиц поглотителя и предотвращения агрегации. Далее смесь необходимо поместить в холодильник, чтобы минимизировать изменение вязкости, которое может происходить при более высоких температурах в результате тепловой реакции во время процесса смешивания.

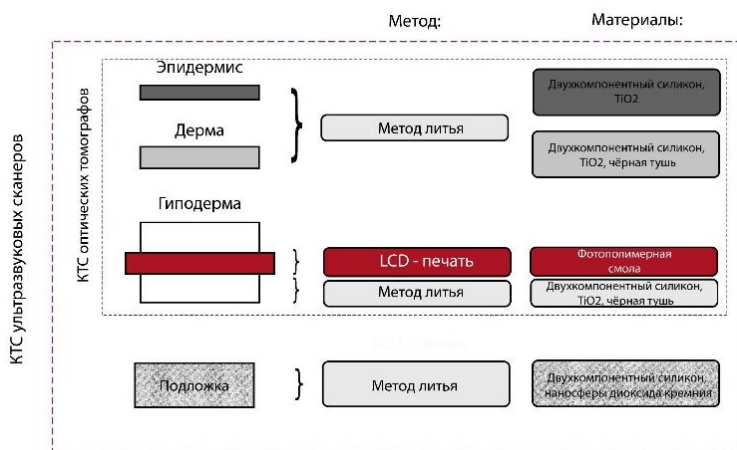


Рис. 2. Графическая модель проекта

Гиподерма изготавливается подобным образом, что и дерма, и эпидермис, только в середину слоя помещается кровеносный сосуд из фотополимерной смолы.

Эпидермис, дерма и гиподерма изготавливаются методом литья. Модель сосуда изготавливается в программе Blender на основе анатомических данных о его строении.

Для имитации акустических свойств, используются кремневые наносферы, добавленные в двухкомпонентный силикон для имитации обратного рассеяния.

Затем слои фантома собираются в один объект согласно анатомическим сведениям имитируемой ткани. Достоверность физической модели проверяется с помощью математической модели.

Важно отметить, что растворы, имитирующие оптические свойства крови, не являются частью формируемых фантомов.

Данная разработка имеет широкую область применения. Основное назначение – это контроль качества параметров изображения медицинских изделий, выполняемый сервисными инженерами в лечебно-профилактических учреждениях/диагностических центрах или в специализированных испытательных лабораториях.

С помощью данного фантома возможно оценить периодический и текущий контроль характеристик оптических томографов, контрастность, глубину зондирования и скорость потока.

Так же это демонстрационный фантом для студентов медицинских ВУЗов для отработки навыков работы с ультразвуковыми сканерами в В-, D- и М-режимах.

Основные каналы распространения изделия – это партнеры кафедры «БМТ»: АО «Тулиновский приборостроительный завод «ТВЕС» и ООО «Медтехника».

Список литературы

1. Потлов, А. Ю. Численное моделирование миграции фотонов в однородных и неоднородных цилиндрических фантомах / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, С. Г. Проскурин // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, № 6. – С. 832 – 839.

2. Оптическое просветление как способ увеличения глубины детектирования наночастиц в коже при ОКТ-визуализации / С. М. Зайцев, А. Н. Башкатов, В. В. Тучин, Э. А. Генина // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Физика. – 2018. – Т. 18, вып. 4. – С. 275 – 284.

М. А. Еськова, Я. В. Устинская, А. К. Брянкина,
И. А. Протопопов, Е. И. Шишков, М. С. Темнов*

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Микроводоросли обладают большим потенциалом для производства различных продуктов. В сравнении с выращиванием других продовольственных и энергетических культур, культивирование микроводорослей не требует землепользования и не способствует загрязнению окружающей среды. Но несмотря на данные преимущества, коммерциализация технологий культивирования микроводорослей все еще находится на начальной стадии из-за проблем, препятствующих использованию микроводорослей в промышленных масштабах (высокая стоимость производства и др.). Комплексная биопереработка микроводорослей может снизить экономические затраты и повысить устойчивость производства. Поэтому необходимо изучение потенциала использования биомассы микроводорослей. Целью данного исследования является обзор потенциальных промышленных применений микроводорослей и их компонентов.

Биотопливо – чистый альтернативный источник топлива, который может заменить ископаемое топливо. В последнее время водоросли привлекают в качестве потенциального сырья для биотоплива, что связано с преимуществами их использования: высокая скорость накопления биомассы, высокое содержание липидов, устойчивость к экстремальным условиям окружающей среды. Общее содержание липидов некоторых видов микроводорослей может достигать 30...60% от сухого веса [1]. Среди видов микроводорослей для производства биотоплива выделяют следующие: *Chlorella vulgaris*, *Kirchneriella lunaris*, *Lyngbya kuetzingii*, *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus obliquus*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Isochrysis sphacrica*. Данные виды обладают высокой липидной продуктивностью, синтезируют преимущественно ненасыщенные жирные кислоты, получаемый из них биодизель имеет высокое цетановое число и относительно низкую температуру помутнения.

Биогаз. Производство биогаза из микроводорослей происходит путем анаэробного переваривания биомассы микроводорослей бактериями.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

Микроводоросли считаются выгодным субстратом для анаэробного сбраживания благодаря высокой продуктивности биомассы и низкому содержанию золы. При выборе видов водорослей отдаются предпочтения штаммам, имеющим тонкие клеточные стенки, что делает их более легкоразлагаемыми. Помимо легкой разлагаемости, необходимо учитывать и другие характеристики, такие как производительность или чувствительность к контаминации. Если выбранный вид обладает жесткими клеточными стенками, необходимо применение соответствующей предварительной обработки. Среди перспективных видов для производства биогаза выделяют: *Arthrospira platensis*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella kessleri*, *Dunaliella salina*, *Euglena gracilis*, *Nanochloropsis spp.*, *Scenedesmus obliquus*, *Spirulina maxima*.

Косметика. Экстракт микроводорослей, как правило, *Chlorella vulgaris specie*, *Chlorogloeopsis spp.*, *Isochrysis*, *Nanochloropsis* обладает способностью защищать от солнечного излучения (светопоглощение) благодаря наличию в своем составе хлорофилла-а, спорополленина и микоспориноподобных аминокислот, в связи с этим они применяются в качестве компонента солнцезащитных средств. Некоторые белки и гидролизаты водорослей рода *Porphyra*, *Spirulina sp.* и *Chlorella sp.* обладают сродством с белками кожи и волос, обеспечивая удержание влаги и подходящую вязкость. В связи с этим косметика, содержащая белки водорослей, может быть использована в продуктах для ухода за кожей и волосами, шампунях, красках для волос. Экстракты *Chlorococcum sp.* и *Chlorella vulgaris* могут использоваться в антивозрастных продуктах, так как способны стимулировать выработку коллагена и способствуют регенерации тканей. Экстракт *Nanochloropsis oculata*, содержащий зеаксантин, способен ингибировать фермент тирозиназу, таким образом предотвращая гиперпигментацию кожи и стимулируя обесцвечивание пигментных пятен. Экстракты *Monodus sp.*, *Thalassiosira sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Chlorococcum sp.* способны модулировать меланогенез, стимулировать дифференцировку кератиноцитов в волосах человека, ускорять их рост и поэтому могут использоваться в составах средств для предотвращения выпадения волос.

В настоящее время существует несколько брендов по производству косметических средств на основе микроводорослей. К примеру, японская компания Sun Chlorella выпускает увлажняющий крем для лица Sun Chlorella Cream®, производимый на основе экстракта *C. pyrenoidosa*. Данный крем способствует увлажнению и обновлению клеток кожи. Другой пример – французская компания ProTec Ingredia, выпускающая крем из экстракта *C. vulgaris* Dermo Chlorella. Крем оказывает укрепляющее и реструктурирующее действие на контур глаз, а также стимулирует синтез коллагена.

Пигменты. Пигменты микроводорослей: хлорофилл, каротиноиды, фикобилипротеины, астаксантин и ксантофилл часто используются в таких отраслях промышленности, как пищевая, нутрицевтическая, фармацевтическая, аквакультура и косметическая промышленность; а также в исследовательских лабораториях [2]. В качестве продуцентов пигментов используются следующие виды микроводорослей: бета-каротин – *Scenedesmus almeriensis*, *Dunaliella abardawil*, *Dunaliella salina*, ликопин – *Chlorella marina*, лютеин – *Chlorella protothecoides*, *Scenedesmus salmeriensis*, *Dunaliella salina*, астаксантин – *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Haematococcus*, хлоророфилл – *Chlorella sp.*, *Chlorella minutissima*, *Dunaliella primolecta*, *Nannochloropsis oculata*.

Очистка сточных вод. Микроводоросли могут очищать городские, промышленные, агропромышленные и животноводческие сточные воды [3]. При использовании микроводорослей отмечается значительное снижение химической потребности в кислороде. В качестве биологических агентов при очистке сточных вод используют *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria*, *Micractinium*. Также микроводоросли способны эффективно поглощать тяжелые металлы из сточных вод, например, *Chlorella vulgaris* поглощает Pb^{2+} .

Применение в сельском хозяйстве. Микроводоросли могут быть полезны при минерализации питательных веществ почвы, в качестве стимуляторов роста растений, рекультивации пустырей, защиты растений. Показано, что биомасса микроводорослей содержит микро- и макроэлементы: азот, фосфор и калий и может применяться в качестве органического удобрения. Микроводоросли семейств *Chlorophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Ulvophyceae* и *Charophyceae* могут применяться в качестве биостимуляторов за счет содержания в своем составе следующих веществ: бетаинов, аминокислот, витаминов и полиаминов, стимулирующих рост растений. Применение экстрактов микроводорослей *Chlorella*, *Dunaliella spp.* и *Phaeodactylum spp.* может обеспечить защиту растений от абиотических стрессов: солевого и водного. Биостимуляторы и биоудобрения на основе микроводорослей считаются экологичными и экономически выгодными.

Животноводство. В животноводстве микроводоросли применяются при обогащении кормов. Добавляемая биомасса микроводорослей положительно влияет на физиологию животных, улучшая их иммунный ответ, сопротивляемость болезням и функцию кишечника, способствует набору веса. В частности, использование *Chlorella vulgaris* при кормлении молочного скота приводит к изменению профиля жирных кислот в молоке; добавление микроводорослей в корма, предназначенные для ягнят и лошадей, увеличивает содержание жирных

кислот в полученном мясе, включение *Arthrospira platensis* в корма для домашней птицы способствует лучшему набору веса.

Фармацевтика. Микроводоросли являются богатым источником биологически активных первичных и вторичных метаболитов (например, жирные кислоты, полисахариды, терпены, индолы и фенолы). Данные метаболиты представляют интерес для фармацевтической промышленности. Доказано, что водорослевые экстракты (например, *Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas pyrenoidosa*) обладают антибактериальной активностью *in vitro* как против грамположительных, так и против грамотрицательных бактерий. Так же сообщается, что экстракт микроводорослей обладает противогрибковой активностью. Некоторые микроводоросли, например, *Dunaliella salina* и *Chlorella pyrenoidosa*, могут использоваться в качестве противоаллергенных средств за счет их способности снижать выработку цитокинов.

Крупномасштабное культивирование микроводорослей может быть полезно для коммерциализации биотоплива и продуктов с высокой добавленной стоимостью. Так же микроводоросли могут быть использованы для уменьшения выбросов CO₂. Таким образом, микроводоросли являются безопасным сырьем, которое предлагает целый арсенал ценных коммерческих продуктов в различных отраслях промышленности.

Статья написана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации – грант МК-2235.2020.8.

Список литературы

1. The study of the lipid extraction process for the production of third-generation biofuel from the pre-treated microalgae *Chlorella vulgaris* biomass / D. Dvoretzky et al. // Chemical Engineering Transactions. – 2019. – V. 74. – P. 73 – 78.
2. Phototrophic Pigment Production with Microalgae: Biological Constraints and Opportunities/ K. J. M. Mulders et al. // Journal of Phycology. – 2014. – V. 50(2). – P. 229 – 242.
3. The technology of pre-purification treatment of municipal wastewater using microalgae *Chlorella vulgaris* / D. Dvoretzky et al. // Chemical Engineering Transactions. – 2017. – V. 57. – P. 49 – 54.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*Д. А. Родионов**

УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Во время производства сычужного сыра образуется вторичное молочное сырье – 80...90% от исходной массы молока. Из-за сложности хранения молочную сыворотку чаще сливают в сточные воды. При этом молочная сыворотка богата минеральными веществами, водорастворимыми витаминами, а также альбуминовыми белками. Процентный состав молочной сыворотки представлен в табл. 1 [1].

1. Процентный состав молочной сыворотки

Компонент	Молочный жир	Белки	Лактоза	Минеральные соли	Сухое вещество
%	0,2	0,9	4,8	0,6	6,5

Как видно из табл. 1, в молочной сыворотке остается достаточное количество молочных белков. На данный момент есть несколько способов получения концентрата молочного белка, к ним относятся выпаривание, криоконцентрирование и баромембранные процессы. Первые два типа концентрирования очень энергозатратны по сравнению с баромембранными методами, где электроэнергия расходуется только на работу насоса. С применением баромембранных методов концентрирования можно извлечь белки и впоследствии использовать их в пищу как высокобелковую добавку [2 – 4].

Исследования по влиянию трансмембранного давления проводились на реальной молочной сыворотке молокоперерабатывающего предприятия Тамбовской области. Для исследования процесса концентрирования использовалась полупромышленная установка трубчатого типа, общий вид, а также схема которой представлены на рис. 1–2 соответственно. Для данной установки были приобретены мембранные ультрафильтры типа БТУ 05/2 производства ЗАО НТЦ «Владипор», в качестве материала мембраны использовались полиэфирсульфон и полисульфон.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ГПТУ» С. И. Лазарева.



Рис. 1. Полупромышленная установка трубчатого типа с внутренним расположением мембран

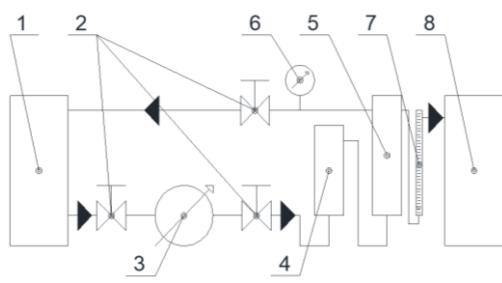


Рис. 2. Схема полупромышленной установки трубчатого типа с внутренним расположением мембран:

- 1* – исходная емкость; *2* – вентили; *3* – центробежный насос;
- 4* – фильтр грубой очистки, *5* – мембранная ячейка;
- 6* – манометр; *7* – ротаметр; *8* – емкость для пермеата

Представленная установка на рис. 1–2 была оснащена центробежным насосом, позволяющим создавать давление до 0,3 МПа и скорость потока 3 м/с, что является подходящим для применяемых типов мембран в данном исследовании.

Эксперименты проводились при разных вариациях давления от 0,05 до 0,3 МПа, а для определения концентрации белка использовался метод формольного титрования. Результаты экспериментальных данных представлены на рис. 3.

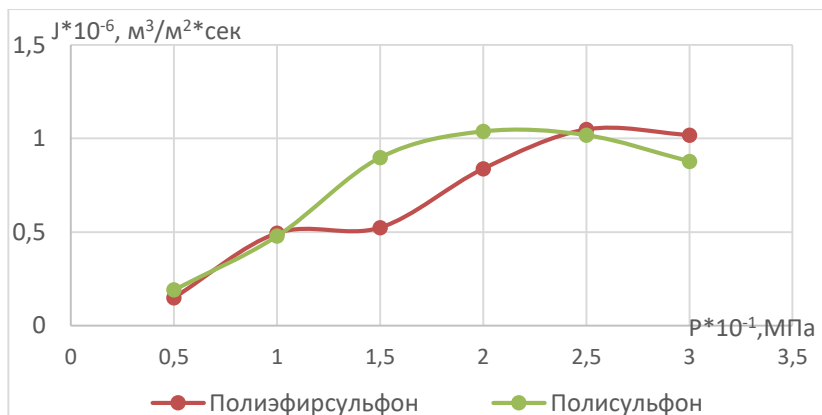


Рис. 3. Зависимости выходного удельного потока (J , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$) от трансмембранного давления для ультрафильтрационных мембран из полиэфирсульфона и полисульфона

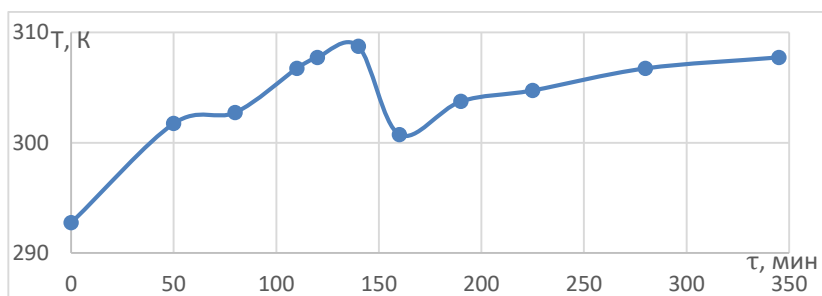


Рис. 4. Зависимости температуры от времени концентрирования молочной сыворотки

Как видно из рис. 3, оптимальным значением трансмембранного давления для двух типов мембран является 0,25 МПа, при увеличении давления до 0,3 МПа наблюдается снижение производительности за

счет снижения скорости потока. При этом стоит отметить, что коэффициент задержания для двух типов мембран составляет 95%, это связано с более мелкими ячейками ультрафильтрационных мембранных элементов, способными задерживать крупные молекулы белка.

Исследования по концентрированию белков молочной сыворотки проходили на протяжении 6 часов, результаты изменения температуры от времени представлены на рис. 4.

Во время эксперимента молочная сыворотка нагревалась от рабочего центробежного насоса.

Применяя процесс ультрафильтрационного концентрирования, возможно получить молочный концентрат с массовой долей белка до 15%, что значительно снижает расход электроэнергии на последующих стадиях получения концентрата сывороточного белка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90036.

Список литературы

1. Ожгихина, Н. Н. Рациональная переработка молочной сыворотки / Н. Н. Ожгихина, Т. А. Волкова // Переработка молока. – 2012. – №. 9. – С. 44 – 47.
2. Богомолов, В. Ю. Проблемы переработки и вторичного использования подсырной сыворотки / В. Ю. Богомолов, С. И. Лазарев // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья. – 2019. – С. 465 – 468.
3. Сорбционная способность ультрафильтрационных мембран и потенциал поля поверхностных сил в растворах молочных белков / В. Ю. Богомолов, С. И. Лазарев, К. К. Полянский, А. Е. Стрельников // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 104 – 110.
4. Определение энергозатрат и эффективности электроультрафильтрационного концентрирования и деминерализации промышленных растворов / С. И. Лазарев и др. // Вестник российских университетов. Математика. – 2017. – Т. 22, № 1.

Кафедра «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*М. С. Темнов, Я. В. Устинская, М. А. Еськова,
Н. А. Кокорев, К. И. Меронюк, И. В. Маркин**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА БЕЛКА

Микроводоросли – это перспективное возобновляемое сырье для производства пищевых добавок, белковых напитков для людей, ведущих здоровый образ жизни, спортсменов и вегетарианцев, основательных сред и др. Количество белков и их аминокислотный состав может варьироваться в широких пределах, в зависимости от условий культивирования (тип питания, температура, уровень освещенности). Белки микроводорослей, в зависимости от условий культивирования, могут содержать различное соотношение заменимых и не заменимых для человека аминокислот.

В связи с этим целью исследования было определение закономерностей влияния условий культивирования микроводорослей штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*), полученного в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, на количественный и качественный состав белков биомассы (наличие аминокислот ВСАА (branched-chain amino acids – аминокислоты с разветвленными боковыми цепями).

Штамм микроводорослей *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*) культивировался в фотобиореакторе объемом 1,5 л при температуре 32 °С, уровне фотосинтетически активной радиации 150 мкмоль фотонов/(м²·с), аэрировании газовой смеси (70...80 л/ч) с содержанием углекислого газа на уровне 0,03% (об.) в автотрофных условиях на среде Тамия и в миксотрофных условиях на среде Тамия с добавлением глюкозы (5 г/л).

Подсчет клеток в суспензии осуществлялся методом прямого подсчета в камере Горяева [1, 2]. Концентрирование клеток осуществлялось в поле центробежных сил с использованием центрифуги Sigma 2-16 RK/2-16P в течение 8,5 мин при $g = 1700$ (4000 об/мин). Клетки микроводорослей влажностью 99,8...99,9% (50 мл) разрушали с использованием СВЧ-генератора в течение 30 с при мощности излучения

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

280 Вт (суспензия обрабатывалась три раза), при этом температура суспензии после воздействия СВЧ-излучения не превышала 65 °С. Экстракция белков осуществлялась фосфатно-буферным раствором (рН 7,4) – 100 мл экстрагента на биомассу (влажность 99,8...99,9%), сконцентрированную из 200 мл суспензии. Определение концентрации белка в экстракте осуществлялось спектрофотометрическим методом [3]. Определение содержания аминокислот ВСАА осуществлялось фотокolorиметрическим методом с использованием 1%-ного спиртового раствора нингидрина и 2 мл 0,05%-ного водного раствора аскорбиновой кислоты (стандарт – раствор ВСАА концентрацией 1 мкл/мл) [4].

Динамика роста клеток микроводорослей штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*) в автотрофных и миксотрофных условиях представлена на рис. 1. Анализ кривых роста позволяет сделать вывод, что промежуток времени 0 – 2 суток характеризуется адаптацией культуры – перестройкой метаболизма в соответствии с созданными условиями культивирования. На 2 – 4 сутки наблюдается активный рост клеток, причем клетки, растущие в миксотрофных условиях, делятся активнее (3,7 г/л на 4 сутки), по сравнению с автотрофными клетками (3,1 г/л на 4 сутки). Эта тенденция сохраняется также на 4 – 7 сутки. Максимальная концентрация клеток, культивируемых в гетеротрофных условиях, наблюдается на 6 сутки культивирования и составляет 11 г/л, а в автотрофных условиях – на 8 сутки (5,5 г/л). Это объясняется тем, что в миксотрофных условиях наблюдается активное клеточное дыхание. Клетка обладает всеми необходимыми ресурсами, чтобы накопить биомассу. При этом наблюдается деградация хлоропластов по сравнению с клетками, растущими в автотрофных условиях. Это выражается в менее насыщенном цвете суспензии, культивируемой в миксотрофных условиях. В автотрофных условиях активны процессы накопления углеводов и жиров, синтезируемых в процессе фотосинтеза. Накопление запасных питательных веществ (углеводов и липидов) требует дополнительных затрат энергии, поэтому скорость размножения и концентрация клеток ниже.

Динамика накопления белков в клетках биомассы микроводорослей представлена на графике рис. 2. В гетеротрофных условиях максимальное количество белков в клетках наблюдается на 4 сутки культивирования и составляет 65% (масс.), далее количество белков уменьшалось, что можно объяснить истощением азотсодержащих соединений и глюкозы в питательной среде, что сказалось на активности гликолиза и процесса биосинтеза аминокислот ВСАА из пирувата.

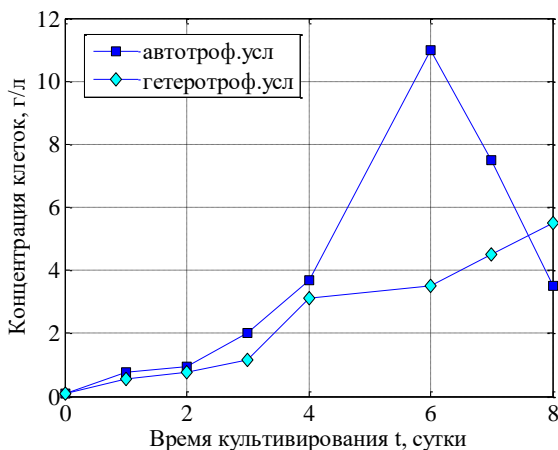


Рис. 1. Динамика роста клеток штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*)

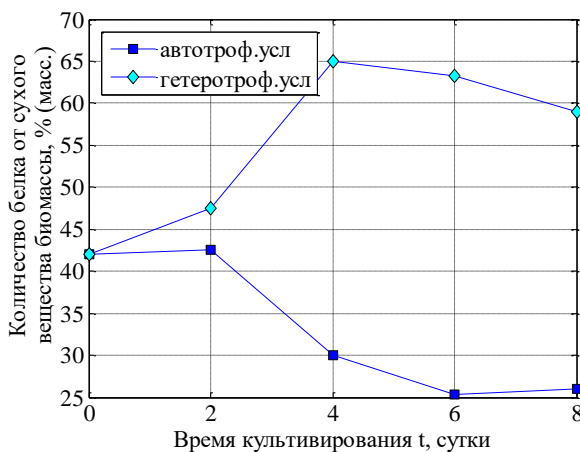


Рис. 2. Динамика накопления белков в клетках биомассы штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*)

Содержание белков в биомассе, культивируемой в автотрофных условиях к 4 суткам культивирования, снижается на 29%, что можно объяснить тем, что в клетках осуществляется перестройка обмена веществ и повышение активности метаболических путей, связанных с биосинтезом липидов и углеводов.

Важно отметить, что содержание аминокислот ВСАА в белках клеток, выращенных в гетеротрофных условиях, постоянно увеличивается и достигает величины 14 мг/г биомассы на 8 сутки (рис. 3), что объясняется высокой активностью процесса усвоения внесенной в питательную среду глюкозы (гликолиза), интермедиатом которого является пируват (рис. 4). Это соединение является предшественником аминокислот ВСАА (лейцина, валина и изолейцина) [5].

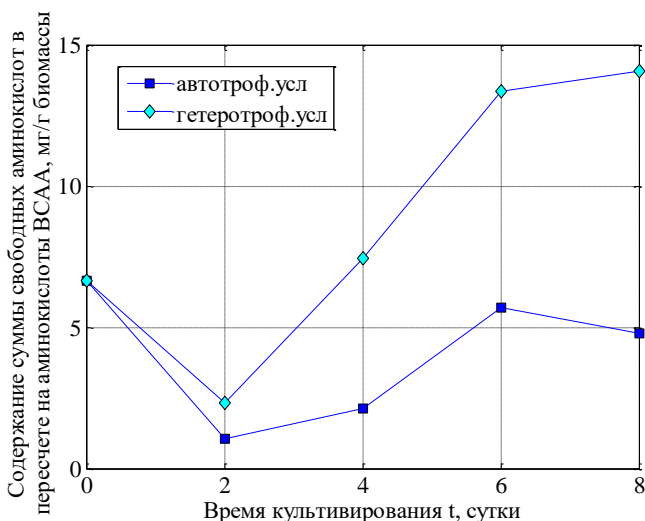


Рис. 3. Динамика накопления аминокислот ВСАА в клетках биомассы штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*)

В автотрофных условиях процессы гликолиза и биосинтеза аминокислот ВСАА из пирувата менее активны (из-за меньшего количества глюкозы в клетках), поэтому содержание этих аминокислот в белках значительно ниже и составляет 4...5 мг/г биомассы, что в 2–3 раза ниже по сравнению с гетеротрофными условиями.

Активный синтез белков (до 65% (масс.)) и аминокислот ВСАА (14 мг/г биомассы) клетками микроводорослей штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*) будет наблюдаться при достаточном количестве в клетке глюкозы и активном протекании процесса гликолиза – в миксотрофных условиях культивирования, при температуре 32 °С и уровне фотосинтетически активной радиации 150 мкмоль фотонов/(м²·с).

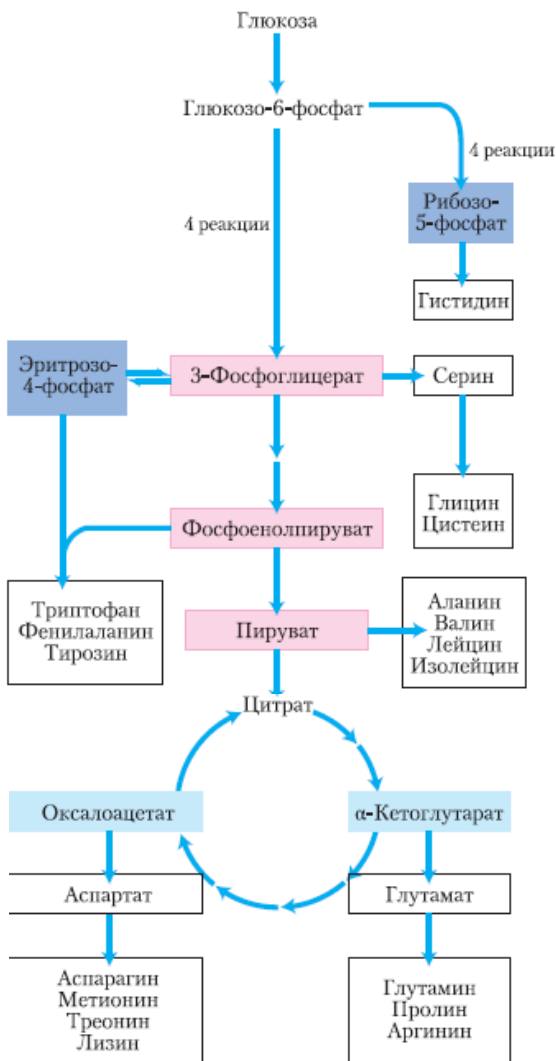


Рис. 4. Схема биосинтеза аминокислот

Статья написана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации – грант МК-2235.2020.8.

Список литературы

1. Владимирова, М. Г. Интенсивная культура одноклеточных водорослей / М. Г. Владимирова, В. Е. Семенов. – М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1962. – 61 с.
2. Технология получения липидов из микроводорослей : монография / Д. С. Дворецкий, С. И. Дворецкий, М. С. Темнов и др. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2015. – 100 с.
3. Принципы и методы биохимии и молекулярной биологии [Электронный ресурс] / ред. К. Уилсон и Дж. Уолкер ; пер. с англ. – 2-е изд. (эл.). – Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 855 с.). – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.
4. Разработка унифицированной методики количественного определения суммы свободных аминокислот в лекарственном растительном сырье и экстракционных препаратах / Т. И. Ярыгина, Г. И. Олешко, Е. В. Зорина, М. Д. Решетникова // Фармация. – 2011. – Т. 60, № 3. – С. 14 – 17.
5. Нельсон, Д. Основы биохимии Ленинджера : в 3 т. – Т. 2: Биоэнергетика и метаболизм / Д. Нельсон, М. Кокс ; пер. с англ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 636 с.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 604.4

Я. В. Устинская, М. А. Еськова, А. К. Брянкина,
И. А. Протопопов, Е. И. Шишков, М. С. Темнов*

К ВОПРОСУ О КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ CHLORELLA VULGARIS ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК

Концепция устойчивого развития предусматривает гармоничное развитие человечества, сопровождающееся экономическими и социальными изменениями, при которых эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического разви-

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. С. Дворецкого.

тия, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал в целях создания честного и изобильного мира, в котором растет качество жизни людей. В контексте решения этих проблем за последнее десятилетие активизировался поиск подходов и технологий для получения нетрадиционных источников сырья, пригодных для производства пищевых продуктов. Создание технологий комплексного использования микроводорослей для обеспечения человека пищевыми ингредиентами могло бы стать потенциально привлекательным подходом для решения перечисленных проблем.

В пищевой промышленности все большую роль играют микроводоросли, которые с давних времен употребляют в пищу люди из разных уголков планеты. Микроводоросли вида *Chlorella vulgaris* входят в десятку наиболее питательных продуктов на земном шаре. Этот вид микроорганизмов ценен из-за своей способности адсорбировать и выводить из организма тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть и уран) и некоторые другие токсические соединения. Так же для этой водоросли при ее выращивании в определенных условиях культивирования характерно высокое содержание липидов (в 100 г порошка биомассы – 25...35 г липидов), белков, аминокислот, витаминов (А, В₁, В₂, В₃, В₆), минералов (железо, магний, цинк), каротиноидов [1].

Первые попытки массового производства одноклеточных водорослей относятся к 1940-м годам. Первоначально проводили исследования по использованию клеток культивируемых водорослей в качестве корма для молоди рыб; затем очень быстро эти водоросли стали рассматривать как возможный источник различных веществ, в том числе и пищевых. В 60 – 70-е годы XX в. одноклеточные и некоторые другие микроскопические фотоавтотрофные водоросли широко изучались в СССР, США, Японии и других странах в связи с возможным применением в сельском хозяйстве. Микроводоросли рассматривались в качестве дополнительного источника белка, липидов, витаминов; в освоении Космоса – как звено в замкнутых экологических системах, способное обеспечить биологическую регенерацию воздуха и воспроизводство пищи; для получения ценных метаболитов и веществ для медицинской и микробиологической промышленности.

Одним из важнейших этапов технологии получения метаболитов из биомассы микроводорослей является процесс культивирования, целью которого является получение максимального количества биомассы заданного химического состава по минимальной себестоимости.

Условия культивирования будут определять активность метаболических путей биосинтеза компонентов клетки, химический состав биомассы, строение клеточных стенок, что в свою очередь окажет значительное влияние на условия разрушения клеток и извлечение ценных внутриклеточных метаболитов. Таким образом, можно сказать, что условия культивирования микроводорослей будут определять кинетику экстрагирования веществ белковой природы, способ предварительной дезинтеграции клеток, виды экстрагентов и их соотношения.

Выбор вида и количества химических веществ питательной среды, необходимых для культивирования штамма микроводорослей, зависит от особенностей жизнедеятельности микроорганизмов и может отличаться даже внутри одного вида. Необходимо отметить, что изменяя состав питательной среды, можно получать продукт желаемого состава с различным соотношением белков и жиров. Так, на среде богатой азотом, *Chlorella vulgaris* может накапливать от 40 до 88% белка и 5% жира, а при недостатке азота и избытке углерода в питательной среде, наоборот, – 88% жира и 5% белка [1].

Одной из главных проблем является дефицит белка в рационе человека. Особую важность белки приобретают для людей, занимающихся спортом и тяжелым физическим трудом, детей и беременных женщин. Физиологическая потребность в белке для взрослого населения, в том числе спортсменов от 0,8 г белков/кг массы тела до 1,5 г белков/кг массы тела (в среднем от 65 до 120 г белков в сутки для мужчин и от 58 г/сутки до 90 г/сутки для женщин).

Белок *Chlorella vulgaris* содержит все незаменимые аминокислоты (табл. 1), а его пищевая ценность в два раза выше, чем у соевого белка. Питательная ценность 1 кг биомассы хлореллы в целом равнозначна 4...5 кг сои. Поскольку хлорелла содержит более 50% белка (для сравнения, показатель для пшеницы составляет около 12%) и не уступает по стоимости мясу, во многих странах она активно внедряется в рацион питания человека.

Аминокислоты, как основные составные части белков, участвуют во всех жизненных процессах, наряду с нуклеиновыми кислотами, углеводами и липидами. Аминокислоты используются в биосинтезе полипептидов и белков, а также в синтезе фосфатидов, порфиринов и нуклеотидов [1].

Один из основных принципов здорового питания, считают диетологи – это сокращение количества насыщенных жиров и увеличение доли ненасыщенных жиров в рационе. По рекомендации ВОЗ, ненасыщенные жиры должны составлять 20% от суммарного потребления продуктов, а насыщенные не должны превышать 10%.

1. Потребность в аминокислотах и содержание их в биомассе микроводорослей [1]

Аминокислота	Потребность в расчете на массу тела, мг/кг	Суточная потребность, г/100 г	Биомасса <i>Chlorella</i> <i>vulgaris</i> , г/100 г
Глицин		3	5,3
Аланин		3	7,6
Серин		3	4,7
Аспарагиновая кислота + + Аспарагин		6	7,2
Глутаминовая кислота		10	12,4
Глутамин (амид глутаминовой кислоты)		6	6,5
Пролин		5	4,8
Гистидин	10	2	2,5
Триптофан	4	1	1,1
Треонин	15	3,4	4,8
Метионин	15	2,4	3,1
Валин	26	4	5,8
Лейцин	39	6,6	7,7
Изолейцин	20	3,5	4,1
Лизин	30	5,7	5,7
Аргинин	10	6	6,5
Фенилаланин	25	6,3	8,0

Употребление в пищу продуктов, содержащих ненасыщенные жирные кислоты, в частности омега-3 жирные кислоты, жизненно необходимо для поддержания работы сердца, мозга и центральной нервной системы и в целом общего здоровья человека. Перспективным сырьем, содержащим такие жирные кислоты, является биомасса микроводорослей [2]. В настоящее время подобные добавки стоят довольно дорого и содержат лишь небольшое количество целевого компонента, что обусловлено недостаточной изученностью влияния условий

культивирования и дальнейшей переработки микроводорослей на содержание ненасыщенных жирных кислот и их биодоступность.

Современный тренд на здоровое питание и развитие фитнес-индустрии позволяет предположить, что популярность биомассы микроводорослей как полезных метаболитов будет расти: мировой объем производства микроводорослей в пищевой отрасли за последние пять лет показал устойчивый рост; например в 2015 г. этот показатель достиг отметки в 2196,1 млн тонн, а к 2020 г. ожидается рост до 3700 млн тонн, т.е. за последние четыре года устойчивый рост составляет около 10% в год. В последние годы по всему миру возникает все больше производств по их культивированию (биотехнологические) и их переработке в ценные компоненты с высокой добавленной стоимостью (химико-технологические).

Статья написана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации – грант МК-2235.2020.8.

Список литературы

1. Nutritional evaluation of Australian microalgae as potential human health supplements / M. Kent, H. M. Welladsen, A. Mangott, Y. Li // PLoS One. – 2015. – V. 10, № 2. – e0118985.
2. Research into the Influence of Cultivation Conditions on the Fatty Acid Composition of Lipids of Chlorella Vulgaris Microalgae / D. Dvoretzky et. al. // Chemical Engineering Transactions. – 2020. – V.79. – P. 31 – 36. DOI: 10.3303/CET2079006.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 54.07

*Д. Ю. Балашов**

КИНЕТИКА УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ СУСПЕНЗИИ НАНОГРАФИТА

Для практической проверки теоретических исследований процессов удаления растворителя из суспензии нанографита и выбора оптимального режима сушки были проведены эксперименты по изучению кинетики сушки и влияния основных факторов на ее эффективность.

Исходный продукт представляет собой дисперсную систему (водную суспензию) влажностью до 98%. Один из перспективных методов получения графеновых структур является электрохимическая эксфолиация графита как способ легкого, быстрого и экологически чистого производства искомого продукта [1, 2]. При получении нанографита этим способом концентрация наноматериалов в суспензии составляет 2...4%. Несмотря на достоинства вышеупомянутого материала, он не удобен в транспортировке (в силу низкой концентрации целевого продукта) и требует дополнительной обработки для повышения концентрации целевого продукта в суспензии. Была поставлена цель – удалить растворитель из суспензии нанографита с возможностью восстановления суспензии с сохранением качественных показателей материала. Для достижения поставленной цели была разработана схема сушильной установки и представлен проект дальнейших исследований [3].

Эксперимент проводили следующим образом. Включали сушильный шкаф. После достижения заданной температуры (перед каждым испытанием) установку калибровали: устанавливали на подвес гирию весом 100 г, ждали стабилизации показаний 20...30 с и проводили калибровку. Взвешивали сухие чистые бюксы, не встряхивая емкость наливали 35...40 г суспензии нанографита (вес фиксировался). Помещали бюкс на подвес в сушильный шкаф, предварительно разогретый до заданной температуры. В ПК в программе Terminal v1.9b происходила обработка полученной информации и были получены данные по

* Работа выполнена под руководством канд. хим. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Ю. Осетрова.

изменению массы суспензии наногрфита во времени. При постоянной температуре через равные промежутки времени (10 с) эксперименты разбивались на отдельные циклы, в каждом из которых сохранялось постоянство всех условий при изменении лишь одного параметра – температуры, влияние которого на процесс изучали в данном случае. Опыт проводили до тех пор, пока разница веса между предыдущим и текущим значением на протяжении нескольких опытов не становилась постоянной. По результатам экспериментов были рассчитаны текущая влажность материала W по формуле $W = \frac{b}{a} 100$, где a – масса суспензии наногрфита (навеска), b – убыль в массе навески после высушивания, определяемая по разности; скорость сушки DW/Dt для суспензии наногрфита, построены графики зависимости $W = f(t)$ и $DW/Dt = f(W)$. В качестве примера на рис. 1 представлены экспериментальные данные и влияние температуры на кинетическую кривую сушки соответственно при $t, ^\circ\text{C}$: 85 (а), 105 (б).

Режим сушки при 45 °С не рассматривался, так как является неудовлетворительным по энергоэффективности и затратам времени (время удаления растворителя – 44 часа).

Было получено математическое описание процесса сушки. Первоначально для приближенного описания кривой сушки была выбрана формула, используемая в работах П. Д. Лебедева, для описания сушки во втором периоде [4]:

$$W(\tau) = W_p + (W_{кр} - W_p) \exp(-2,3K_i \tau), \quad (1)$$

где $W(t)$ – текущая влажность; W_p – равновесная влажность; $W_{кр}$ – критическая влажность, t – время; K_i – коэффициент сушки. Для математического анализа данной функции значащие параметры были заменены на вариационные коэффициенты a, c, d , а функция преобразована к виду

$$W(\tau)t = c + d \exp(-a\tau). \quad (2)$$

Учитывая, что формула (1) описывает только второй период сушки, ввели дополнительный степенной коэффициент b при параметре времени t . Осуществленные исследования показывают, что в начале обезвоживания суспензия наногрфита быстро нагревается. Далее на протяжении периода сушки температура суспензии остается постоянной, где происходит интенсивная потеря жидкости, который называется первым периодом сушки. Он соответствует удалению свободной влаги, покрывающей поверхность материала. После чего начинается удаление связанной влаги – второй период сушки. Точка, разделяющая первый и второй периоды сушки, называется критической точкой,

а влажность материала, соответствующая ей – первой критической влажностью. Конечная влажность материала характеризует его равновесную влажность (W_p) при данных условиях сушки. Таким образом, в конце цикла сушки влага из образца выделяется крайне медленно. Это говорит о том, что в момент постоянной скорости сушки, когда обезвоживается в основном свободная влага с поверхности, сушка ограничивается главным образом внешними границами. В момент

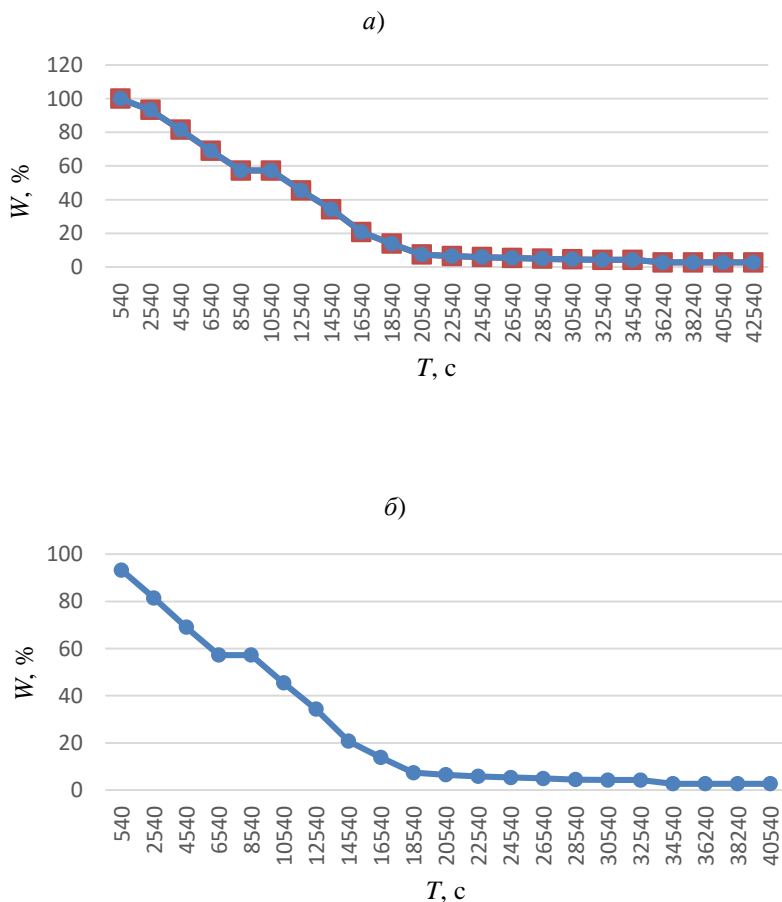


Рис. 1. Влияние температуры на кинетическую кривую сушки соответственно при t , °C: 85 (а), 105 (б)

падающей скорости сушки процесс удаления растворителя ограничивается внутренними границами тепло- и массопереноса, в особенности, интенсивностью диффузии влаги из внутренних слоев высушиваемого материала к его поверхности.

На разработанной установке сушки суспензии графита проведены исследования, позволяющие проверить результаты теоретических исследований, выбрать оптимальный режим удаления растворителя.

Предварительный анализ полученных позволяет оценить некоторые характеристики данного процесса, например такие, как скорость удаления растворителя из суспензии графита, оценить кинетические кривые процесса.

Следующим этапом работы будет оценка коллоидной устойчивости суспензии графита при разных режимах удаления растворителя, оценка эффективности режимов восстановления обезвоженной суспензии и возможность восстановления первоначальных параметров.

Список литературы

1. Бакунин, Е. С. Современные способы получения малослойных графеновых структур методом электрохимической эксфолиации графита / Е. С. Бакунин, Е. Ю. Образцова, А. В. Рухов // Перспективные материалы. – 2018. – № 7. – С. 5 – 15. doi:10.30791/1028-978X-2018-7-5-15.
2. Enhanced Electrochemical Performance at High Temperature of Cobalt Oxide / Reduced Graphene Oxide Nanocomposites and its Application in Lithium-Ion Batteries / Y. Mussa et al. // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9, № 44. – P. 76 – 83.
3. Балашов, Д. Ю. Разработка схемы лабораторной установки для удаления растворителя из суспензии графита / Д. Ю. Балашов // Современное состояние и перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф. [Электронный ресурс]. – Анапа : Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2020. – 112 с.
4. Исаков, Р. М. Изучение зависимостей кинетической кривой сушки от температуры, относительной влажности и скорости движения агента сушки / Р. М. Исаков, Олжас Бекенов, А. М. Исакова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 41(175). – С. 10 – 12. – URL : <https://moluch.ru/archive/175/45945/> (дата обращения: 10.10.2020).

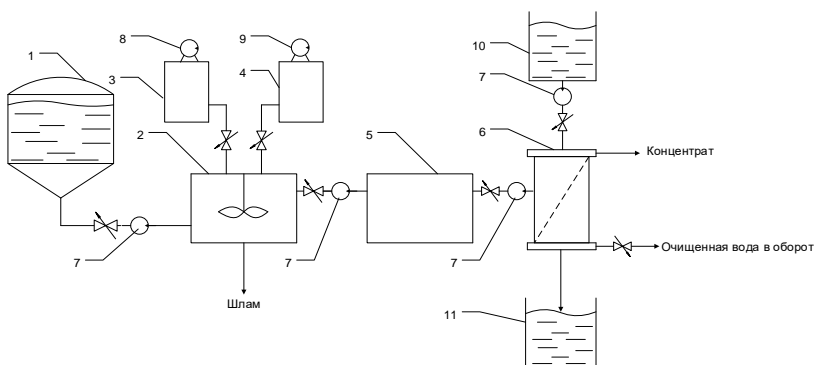
Кафедра «Химия и химическая технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*А. А. Левин, Д. С. Лазарев**

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Модернизация процесса утилизации отходов химических производств тесно связана с решением экологических задач, способствующих экономии используемых ресурсов окружающей среды и уменьшению объема отходов, поступающих в нее. Всего этого можно достичь за счет применения малоотходных технологий, одной из которых является мембранная очистка промышленных сточных вод [1, 2].

Предложенная технологическая схема очистки промышленных сточных вод АО «Тамбовмаш» с применением оригинального электробаромембранного аппарата показана на рис. 1.



**Рис. 1. Технологическая схема очистки промышленных сточных вод
АО «Тамбовмаш»**

Данная схема включает в себя приемные накопители стоков (1), реакторы (2), резервуары раствора кислоты (3), резервуары щелочных растворов (4), фильтры предварительной очистки (5), электробаромембранный аппарат (6), насос-дозатор (7), насос подачи кислоты (8), насос подачи щелочи (9), резервуары химических реагентов, предна-

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ПГТУ» О. А. Абоносимова.

значенных для регенерации электробаромембранного аппарата (10), резервуары сброса химических реагентов после регенерации аппарата (11).

Разделение промышленных растворов в разработанной инженерной схеме предполагает применение оригинального электробаромембранного аппарата трубчатого типа. Используемая в настоящее время схема очистки на заводе не имеет возможности достичь той степени утилизации промышленных сточных вод, которая позволяла бы их применение в дальнейшем в технологическом процессе, например, повторное использование в хозяйственном обороте очищенных вод и возврат концентрата, полученного из отходов в результате их мембранной очистки, для промышленного применения.

В целях прогнозирования экологической эффективности представленной схемы очистки сточных вод АО «Тамбовмаш» был проведен расчет с использованием данных по производству и полученных экспериментальных результатов по кинетическим характеристикам электробаромембранного процесса в процессе разделения промышленных растворов [3].

Отходы производства на производстве поступают в резервуар-шламонакопитель (объект расположения сточных вод определен в Государственный реестр приказом № 597 от 23.08.2015 г.), т.е. по применяемой схеме очистки используется механическая технология. После фазы отстаивания стоки проходят доочистку на ООО «Водоканал» и далее сбрасываются в городские канализационные сети, а твердый осадок накапливается в резервуаре.

При такой технологической схеме затраты на утилизацию по данным предприятия составляет 105 руб./т., которые включают в себя стоимость доочистки на ООО «Водоканал» в среднем 30 руб./т.

В течение месяца на предприятии получается 9760 тонн технологических растворов (коэффициент перевода 1,3 для шламов) или 12 115 м³. Предприятие работает в 1,5 смены, 22 рабочих дня.

По предложенной новой технологии переработки промышленных растворов на предприятии будут проведены: монтаж нового оборудования, пусконаладочные работы и ввод схемы в эксплуатацию, подготовка кадров. На все эти работы потребуется 3,08 млн. руб. Производительность технологической схемы с использованием электробаромембранного оборудования составит 270...300 тонн/сутки. С учетом времени работы на предприятии сброс промышленных стоков в сутки составит 293 тонн. Соответственно, используемое новое оборудование с обозначенной производительностью вполне подходит для организации процесса очистки.

Результаты расчета эффективности электробаромембранной технологии в сравнении с применяемой технологией на предприятии представлены в табл. 1.

1. Результаты экономического расчета базового и проектного вариантов

Технико-экономические показатели	Базовая схема очистки	Проектная схема очистки	Затраты на весь объем очистки, руб.	Изменение величины
	Затраты на 1 т продукции, руб.	Затраты на 1 т продукции, руб.		
Себестоимость	105	82		-195 000
Доход от использования концентрата	0	3664	+2 143 530	+2 143 530
Плата за хранение отходов	6151,23	1718,50		-4432,65
Индекс доходности				1,704
Рентабельность продукции				54,50%
Чистый доход, руб.				5 246 380
Срок окупаемости, лет				2
Итого:				200 000 руб.

Знак «минус» в приведенных данных означает экономию, т.е. эффект от применения электробаромембранной очистки определяется снижением затрат на утилизацию и уменьшением затрат за сброс отходов.

По представленным данным вышеприведенной таблицы, использование электробаромембранной очистки сточных вод позволяет получить эффект в объеме 200 000 руб., в том числе экономический – 195 000 руб. и экологический – около 5000 руб.

Доход от использования концентрата составит 3664 руб. с 1 тонны, а от всего объема – 2 143 530 руб.

Экологический налог при этом уменьшится и составит 1717,60 руб. С учетом этого прибыль по реализации концентрата составит 2 147 104 руб.

Индекс доходности превышает значение 1 и имеет величину 1,703, что позволяет считать процесс очистки рентабельным. Кроме того, рентабельность продукции также имеет высокий показатель. Его величина составляет 54,5% и говорит о том, что каждый рубль затрат предприятия приносит прибыль в размере 54,5 коп. Хороший показатель срока окупаемости проекта – 2 года, т.е. через 2 года затраты на модернизацию схемы очистки стоков вернутся в предприятие. С учетом того, что цена концентрата не была проиндексирована на величину инфляции, величина срока окупаемости может быть уменьшена [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-38-90117).

Список литературы

1. Павлов, Д. В. Разработка новых технологий и оборудования для систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Д. В. Павлов // Водоснабжение и канализация. – 2011. – № 1–2. – С. 84 – 89.
2. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности / А. И. Родионов, В. Н. Клушнн, В. Г. Систер. – Калуга, 2000. – 800 с.
3. Abonosimov, D. O. Effect of solution flow pattern on mass transfer in baromembrane separation of industrial solutions and effluents / D. O. Abonosimov, S. I. Lazarev, O. A. Abonosimov // Chemical and petroleum engineering. – 2016. – V. 52, № 3–4. – P. 174 – 178.
4. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды (утв. Минприроды РФ от 26.01.1993) (ред. от 15.02.2000, с изм. от 12.07.2011) (зарег. в Минюсте РФ 24.03.1993 № 190).

Кафедра «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*А. В. Рухов**

**РАЗРАБОТКА КОНСИСТЕНТНОГО
СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА
С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

Развитие регионального агропромышленного комплекса не представляется возможным без применения современной сельскохозяйственной техники [1]. Использование которой, в свою очередь, требует применения большого ассортимента технологических жидкостей, в том числе консистентных смазочных материалов [2]. Особенно это актуально при использовании подвесной техники, имеющей развитую механизацию. В то же время наблюдается серьезная экологическая проблема с накоплением и утилизацией отработанных моторных масел, особенно на фоне постоянного увлечения автомобильного парка [3, 4].

В связи с этим весьма актуальной задачей является переработка отработанных моторных масел в консистентные смазочные материалы. Однако вследствие особенности переработки отработанных масел [5], как правило, затруднительно получение консистентных смазок высокого качества и их применяют для получения продуктов с загустителями на основе кальциевых мыл – солидолов. Но солидолы обладают существенным недостатком – низкой максимальной температурой применения.

В рамках данного исследования ставится задача разработки нового вида солидола на основе переработанных отработанных моторных масел с устраненным недостатком по величине максимальной температуры применения за счет введения коллоидных частиц окисленного графита. В связи с этим целью работы является разработка научно обоснованной рецептуры и способа получения солидола на основе очищенного отработанного моторного масла, модифицированного коллоидным окисленным графитом (КОГ). Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– совершенствование способа очистки отработанного моторного масла;

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «ГПТУ» А. В. Рухова.

- разработка способа и исследование кинетики процесса получения КОГ;
- разработка способа внесения КОГ в консистентную смазку;
- установление рациональной концентрации КОГ в солидоле;
- проведение стендовых и натуральных испытаний модифицированного смазочного материала;
- корректировка рецептуры солидола с учетом сохранения реологических характеристик и результатов испытания.

Проведенный обзор показал, что наиболее рациональным, с точки зрения экологии и экономики, способом получения КОГ является электрохимический [6]. В рамках данной статьи рассмотрена задача совершенствования методики очистки отработанных масел. Очистка от механических примесей и продуктов окисления осуществляется в два этапа. В качестве последних выступают продукты окислительной полимеризации и низкомолекулярные органические кислоты. Проведенный анализ показал, что наиболее универсальными и простыми методами очистки являются адсорбционные.

Одним из наиболее важных этапов работы является разработка методики приготовления адсорбционного регенерата отработанного масла.

Первый пункт методики состоит в регенерации сорбента. Используется сорбент цеолит алюмосиликат, согласно ГОСТ 16188–70, который в большой группе близок по составу и свойствам к *минералу*, водные *алюмосиликат* кальция и натрия из подкласса каркасных *силикатов*. Очистка от механических примесей в сорбенте заключается в медленном перемешивании гранул цеолита смесителем с постоянной подачей дистиллированной воды. Дальнейшая регенерация в вакуумном шкафу при температуре 160 °С в порядке 8 часов до полного десорбирования паров, обязательная выдержка в течение 1 часа в вакуумном эксикаторе для окончательного процесса регенерации сорбента в твердой фазе.

Окончательное приготовление заканчивается пропиткой раствором гидроксидом натрия из расчета 0,1; 0,2; 1; 2; 4 мг NaOH на 15 г цеолита. Далее проводилась вакуумная сушка при начальной температуре 80 °С с ее понижением до кристаллизации NaOH на поверхности цеолита в течение двух часов.

Очистку отработанного масла от грубых механических примесей осуществляли на лабораторном нутч-филт্রে. Использовали бумажную фильтрующую перегородку – красную ленту. Для увеличения скорости фильтрования масло подогревалось до 60 °С.

Для проведения эксперимента выбиралось 6 образцов массой 150 г. Пять образцов с разным содержанием NaOH и один контрольный, которые помещались в конические плоскодонные колбы объемом 250 мл и устанавливались на колбовзбиватель с частотой колебания 1 Гц, амплитудой 80 мм. Время обработки 1 час. В процессе обработки отбирались образцы в моменты времени 5, 15, 40 и 60 мин. Далее осуществлялся контроль рН водной вытяжки из образца масла. Для проведения этой части эксперимента приготавливают эмульсию в соотношении 5 мл отработанного масла, 1 мл 95%-ного этанола (C₂H₅OH), 10 мл растворителя Нефраса С2-80/120) и 50 мл дистиллированной воды. Полученные эмульсии интенсивно перемешивались с использованием лабораторного шейкера в течение 30 мин. Далее они осваивались в делительных воронках, а измерение рН нижней фракции осуществлялось с применением поверенного и калиброванного прибора. Результаты измерения представлены в табл. 1.

1. Кислотно-щелочной показатель водной вытяжки из отработанных масел

Взаимосвязь показателя рН от времени и концентрации				
Концентрация NaOH, г	Время эксперимента, мин			
	5	20	40	60
0,1	7,18	7,22	7,41	7,53
0,2	7,35	7,38	7,5	7,58
1	7,45	7,54	7,8	8,09
2	8,36	7,97	8,64	9,21
4	8,66	8,36	11,17	11,2
0 (контрольный образец)	7,45	7,27	7,54	7,59

Как видно, прослеживается однозначная зависимость повышения рН с повышением содержания щелочи. Однако при значениях более 8,5, начинают наблюдаться негативные эффекты, связанные с коррозионным разрушением металлических и полимерных конструктивных элементов. Поэтому для проведения дальнейших исследований отработанное масло очищалось при содержании NaOH 1 мг на 15 г цеолита в течение 60 мин.

Список литературы

1. Греков, Н. И. Эколого-экономическая эффективность использования земельных ресурсов / Н. И. Греков, Э. А. Климентова, А. А. Дубовицкий // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск : Изд-во ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ», 2015. – С. 155 – 162.
2. Белоусов, М. Ю. Анализ проблемы эффективного использования нефтепродуктов в сельском хозяйстве / М. Ю. Белоусов; МСХА имени К. А. Тимирязева. – 2018. – С. 21 – 24.
3. Картошкин, А. П. Концепция сбора и переработки отработанных смазочных масел / А. П. Картошкин // Химия и технология топлив и масел. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный агроуниверситет, 2003. – С. 3 – 5.
4. Rukhov, A. Modern methods for synthesis of few-layer graphene structures by electrochemical exfoliation of graphite / A. Rukhov, E. Vakunin, E. Obrazcova // Inorganic Materials: Applied Research. – 2019. – 10(2). – P. 249 – 255.

Кафедра «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 62.9:536.242:664.87

Г. В. Рыбин*, Н. В. Воронин, Д. С. Самохвалов

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ЭКСТРАГИРОВАНИЯ

Производство экстрактов в России из местного растительного сырья и дальнейшее создание с их использованием новых пищевых продуктов для профилактического и функционального питания, а также лекарственных настоев и препаратов, представляет собой актуальную задачу, имеющую важное народнохозяйственное значение. В настоящее время интенсивно развиваются новые передовые методы экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья, характеризующиеся высокой скоростью процесса и полной извлечения веществ [1].

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» Ю. В. Родионова.

Экстракция может быть разовой (однократной или многократной) или непрерывной. Экстракция применяется во многих отраслях пищевой, парфюмерной, фармацевтической и других промышленности за счет выделения важных биологических активных веществ. На основе водных и водно-спиртовых экстрактов производятся такие необходимые продукты, как крема, духи, настои, сиропы, отвары и др.

Экстрагирование растительной продукции с помощью вакуумно-импульсных технологий – это уникальная технология, которая дает возможность получать извлечения из различных растительных материалов, которые будут полностью сохранять весь комплекс биологически активных веществ (БАВ) и витаминов. Области применения экстрактов различны: пищевая промышленность, фармацевтика, косметическая и прочие сферы жизнедеятельности человека.

Одной из наиболее важных задач во время обработки лекарственных материалов является полное сбережение цельного комплекса биологических компонентов, входящих в состав.

Натуральные растительные вещества считаются одной из лучших альтернатив современных синтетическим компонентам, так как они практически не обладают побочными проявлениями, а также очень легко и доступно принимают участие в обменных процессах в теле человека.

Экстрагирование под вакуумом дает возможность осуществлять переработку растительного сырья при низких температурных режимах – от 30 до 60°C. Благодаря этому удастся полностью исключить возможность разложения термонеустойчивых компонентов, и в несколько раз ускорить процедуру получения экстрактов, в частности, наиболее труднодоступных.

Технология вакуумно-импульсного экстрагирования апробируется на разработанных авторами различных конструкциях универсальной вакуумной экстракционно-выпарной установки [2], на которой для создания вакуума применяется модифицированный двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос. Данная технология подразумевает предварительную дегазацию растительного сырья под вакуумом (импульсное воздействие), пропитку экстрагентом под атмосферным давлением (настаивание) с постоянным или периодическим подогреванием (или без настаивания), выделение целевых компонентов под вакуумом. В результате импульсного вакуумирования происходит вскипание растворителя в порах материала, а образующийся пар выталкивает насыщенный целевым компонентом экстрагент. При необходимости проводится повторная заливка экстрагента, и процесс повторяется.

При проведении экспериментов [3] установлено, что основными параметрами, влияющими на процесс экстрагирования, являются: качество выбранного растительного сырья, клеточное строение материала, качество и способ измельчения, остаточная влажность (при использовании высушенного сырья), температурный режим, величина вакуума, вид используемого экстрагента, гидромодуль (соотношение сырья: экстрагент), продолжительность процесса. Интенсификация процесса экстрагирования с использованием вакуумно-импульсных технологий по сравнению с другими методами, в том числе обработка сырья под вакуумом без использования предварительных импульсов, протекает на 10...15% быстрее.

Таким образом, получение экстрактов с применением вакуумно-импульсных технологий имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- максимальное сохранение биологически активных веществ и витаминов за счет обработки сырья при низкой температуре;
- максимальное извлечение целевых компонентов из сырья при минимальных затратах времени;
- значительное сокращение энергозатрат до 15%;
- удобство хранения и транспортировки готовой продукции;
- увеличение срока хранения продукции.

Для усовершенствования процессов экстрагирования был разработан горизонтальный смесительно-отстойный экстрактор. Такие аппараты широко используются на урановых заводах, так как в отличие от колонных экстракторов, они позволяют при сравнительно небольшой высоте перерабатывать значительные объемы жидкостей на каждый аппарат.

За счет автоматизации процесса экстрагирования происходит непрерывно. При экстракции применяется вакуум-импульсная технология, которая позволила сократить время в 10 раз, понизить энергозатраты и температуру кипения, а также повысить производительность и качество экстрагента.

Данная установка состоит из конструкционных материалов, таких, как: электродвигатель, жидкостнокольцевой вакуумный насос, дистиллятор, выпариватель, емкость для сбора экстрагента, емкость для экстрагирующего вещества и автоматика.

Отличительные преимущества разработанных образцов: простота конструкции и надежность, экологическая безвредность вследствие отсутствия масла внутри рабочего пространства, возможность откачки практически всех газов и паров, низкий уровень вибрации, высокая стойкость к кавитации и абразивным средам.

Экспериментальные исследования были проведены следующим образом: 30 г яблок сорта «Жигулевское», предварительно высушенные до 13% ($\pm 1\%$) и порезанные ломтиками начальной толщиной, равной 3...4 мм, были экстрагированы в дистиллированной воде (ГОСТ 6709–72) с гидромодулем 1:50 при температуре 55 °С и вакууме.

В эксперименте установлено, что для вакуумного экстрагирования достаточно 30 мин для извлечения большинства полезных веществ из сырья.

Рассмотрим на примере яблок оценку экономического эффекта установки. Допустим, наша установка стоит 500 000 руб. 1 кг сырья (сушеные яблоки) стоит примерно 400 руб. Литр дистиллированной воды – 15 руб. Затраты на электроэнергию по Тамбовской области составляют 3,96 руб. за кВт. Предположим, что наша установка в день делает 240 литров экстракта.

1 литр яблочного экстракта по рыночной цене стоит 600 руб. Мы, в свою очередь, можем делать такой же экстракт в 3 раза дешевле. Следовательно, за день мы будем получать прибыль в размере 24 000 руб. В таком случае установка окупится за 21 день.

Нам поступило предложение об экстракции 500 кг сухой стевии (сахарозаменитель, который применяют для лечения ожирения и гипертонии). Промышленная установка за один цикл (час) может изготовить 30 л экстракта. По расчетам, за 53 дня израсходуется все сырье. С 1 литра прибыль будет равна 50 руб. В таком случае доход будет составлять 625 000 руб., а чистая прибыль с учетом расходов – 466 000 руб.

Так же стоит отметить, что при помощи нашей установки можно производить биологически активные добавки (БАД). Рынок БАД занимает приблизительно 10% всего фармакологического рынка и в данный момент очень динамично развивается. Но в нашей стране основную долю рынка БАД занимают иностранные компании, а доля отечественных производителей очень мала. В связи с чем биологически активные добавки имеют высокую стоимость.

Благодаря низкой себестоимости производства и сырья растительных материалов мы можем производить биологически активные добавки стоимостью значительно ниже зарубежных аналогов и при получать хорошую прибыль.

Список литературы

1. Рудобашта, С. П. Водное экстрагирование сырья под воздействием импульсного электрического поля высокой напряженности /

С. П. Рудобашта, В. Т. Казуб, А. Г. Кошкарлова // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина». – 2016. – № 4(74). – С. 16.

2. Универсальная экстрактно-выпарная установка растительного сырья / А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, В. П. Капустини др. // Наука в центральной России. – 2017. – № 2(26). – С. 32 – 41.

3. Технологическая линия по производству экстрактов из растительного сырья / А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, С. А. Анохин и др. // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 2. – С. 82 – 85.

Кафедра «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 621.357

В. В. Храмцов*

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА НИКЕЛИРОВАНИЯ

Коррозия металлов, т.е. разрушение вследствие электрохимического или химического воздействия среды, причиняет народному хозяйству огромный вред. Ежегодно из-за коррозии выбывает из строя свыше 35% всего вырабатываемого металла и сплавов [1]. Кроме того, преждевременно выходят из строя пораженные коррозией инженерные сооружения, суда, машины и аппараты, приборы, а также происходят вызываемые коррозией несчастные случаи. Таким образом, задача защиты изделий из металлов и сплавов от коррозии является актуальной.

Существует несколько способов защиты металлов и сплавов от коррозии, в том числе легирование хромом и никелем, пропитка в маслах и гидрофобизирующих жидкостях, нанесение металлических и неметаллических защитных покрытий. Кроме снижения потерь металла и предохранения изделий от коррозии, твердые износостойкие покрытия повышают сопротивления трущихся поверхностей механическому износу, что позволяет повысить срок службы трущихся поверхностей, например, цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей и пр. Одним из наиболее твердых является хромовое по-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Б. Борисенко.

крытие. Однако вследствие его высокой цены, вместо хромового покрытия часто используют близкое по значениям твердости никелевое покрытие, которое также лучше ложится на детали со сложным профилем.

Твердость никелевых покрытий достигает 4 МПа, что выше, чем у кадмиевых, цинковых и оловянных покрытий. Следует отметить, никель является довольно сильным аллергеном и не рекомендуется наносить никелевые покрытия на изделия, которые могут соприкасаться с кожей человека.

Возможно два способа нанесения никелевых покрытий: электролитический и химический.

Электролитический способ – нанесение никелевых покрытий на поверхность изделия из электролита под действием электрического тока. Преимущество способа – четко контролируется толщина покрытия, минимальный расход покрываемого металла. Кроме того, подбирая вид электролита и режим осаждения, можно получать осадки нужной структуры, внешнего вида и с различными механическими свойствами. Недостатком электролитического никелирования является неравномерность осаждения никеля при нанесении на рельефную поверхность, а также невозможность покрытия узких и глубоких отверстий и полостей.

При химическом способе покрываемое изделие помещают в водный раствор, содержащий растворенную соль металла и восстановитель [2]. Осаждаемое в процессе химического никелирования покрытие не является чистым никелевым, как при гальваническом никелировании, а состоит из сплава никеля с фосфором. Покрытие этим сплавом не имеет ничего общего с покрытием чистым никелем как по физико-механическим, так и по химико-коррозионным свойствам. Покрытие может быть нанесено на изделия сложной конфигурации с высокой степенью равномерности. Его можно нанести на внутренние полости и каналы изделия, что практически невозможно реализовать при гальваническом нанесении.

Рассмотрим требования к оборудованию, предъявляемые для проведения процесса химического никелирования.

При подборе материала для ванны учитывают следующие обстоятельства: во время процесса не должно происходить отложения никеля на стенках ванны; материал ванны не должен загрязнять раствор. Наиболее подходящими материалами являются стекло, фарфор, керамика, эмаль и др. Эмалированные сосуды могут служить только при отсутствии повреждения эмали. В противном случае, в местах дефек-

тов эмали, на железе, происходит отложение никеля, которое вызывает непроизводительный расход реагентов. Применение металлов типа нержавеющей сталей для данного процесса совершенно исключается ввиду того, что на стенках ванны в этих случаях может начаться процесс восстановления никеля. При выборе материала для обкладки необходимо также учитывать и то, что ванну приходится периодически очищать от осадка порошкообразного никеля, возникающего в некоторых условиях на стенках ванны. Удаление этих осадков возможно проводить или механическим способом, или же растворением в азотной кислоте.

Необходимая температура раствора может быть достигнута при использовании любого источника тепла: пара, электричества или газа, как путем внешнего, так и внутреннего обогрева. Внешний обогрев может проводиться или при помощи водяной (или паровой) рубашки, или путем погружения всего резервуара ванны в термостат, обогреваемый любым способом. Для достижения эффективного обогрева стенки ванны должны быть достаточно тонкими. При конструировании обогревательных устройств следует предусматривать необходимость освобождения ванны от раствора и ее очистку. Внутренний обогрев осуществляется прямым введением пара. Для предотвращения снижения концентрации компонентов за счет конденсации пара, в технологическую схему вводят дополнительную операцию – испарение раствора в вакууме, при которой раствор несколько концентрируется. Так же обогрев осуществляется при помощи электрических нагревателей (спиралей) или паровых змеевиков, непосредственно погружаемых в раствор. Недостатком такого вида обогрева является опасность осаждения никеля на спирали и на стенки змеевика, что в дальнейшем является причиной непроизвольного расходования реагентов.

В процессе разработки линии химического никелирования важным этапом является выбор технологического оборудования, обладающего перечисленными выше требованиями [3, 4]. В качестве базовой установки была выбрана установка серии УХН (Установка химического никелирования) УХН-905М производства ОАО «НИТИ-Тесар», г. Саратов. Данные установки используются для химического никелирования деталей сложной конфигурации из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, алюминия, титана, меди и сплавов на их основе. Особенностью конструкции данных установок является то, что технологические операции (нагрев раствора, нанесение покрытия, корректировка раствора, удаление механического загрязнения) осуществляются в одном объеме. Это позволяет сократить на 25% энергозатраты и про-

изводственную площадь в сравнении с другими установками. Корректировка рабочего раствора (поддержание концентрации никеля серно-кислого, гипофосфита натрия и рН) осуществляется в процессе никелирования добавлением концентрата по заданной программе.

Для разрабатываемой гальванической линии требуется три таких установки. В процессе проектирования были выявлены ряд недостатков стандартной установки химического никелирования. Конфигурация и расположение ключевых элементов установки (штуцеры трубопроводов, элементы управления и др.) плохо вписываются в конкретную проектируемую гальваническую линию. Для предотвращения протекания процесса химического никелирования на твердых частицах загрязнений, осевших на дно, в исходной установке предусмотрено охлаждение дна установки проточной водой (рабочая температура находится в узком диапазоне 90...92 °С, и при понижении температуры реакция не протекает). Однако заказчику дополнительно потребовалось наличие фильтра раствора. Таким образом, конструкция установки была модернизирована путем добавления системы фильтрации раствора с его последующим возвратом в ванну-реактор через форсунки. Рабочая температура находится в узком диапазоне 90...92 °С. В процессе дальнейшей эксплуатации заказчик может использовать либо фильтрацию раствора, либо охлаждение дна ванны-реактора уже на свое усмотрение.

В итоге спроектирована модернизированная установка химического никелирования без какого-либо дополнительного оборудования, сокращающего производственную площадь, что особенно ценно при работе установки в составе гальванической линии. Система встряхивания подвески выполнена с использованием двух пневмоцилиндров, а не на четырех. Все пневматические магистрали разведены внутри установки, и для подключения пневмошкафа установки к цеховой воздушной магистрали нужно подключить единственную пневмотрубку. Из оригинальной конструкции исключен один дозирующий насос и емкость под корректирующий раствор, так как есть внешние передвижные емкости в составе гальванической линии. Другой дозирующий насос и емкость для корректировки (раствор аммиачной воды) были интегрированы непосредственно в установку, при этом внешне их не видно, все находится внутри. Предусмотрено две системы очистки раствора: либо путем фильтрации раствора, либо охлаждением дна ванны. В результате была получена более эргономичная установка, предназначенная для работы в составе гальванической линии.

Список литературы

1. Бердникова, Г. Г. Получение цинковых покрытий на стали Ст3 на ФГПУ «Опытный завод «Тамбоваппарат» / Г. Г. Бердникова, А. В. Малин, Ю. И. Ладыженская // Вестник ТГУ. – 2012. – № 1(17). – С. 360 – 369.
2. Химическое осаждение никелевых покрытий и их коррозионная устойчивость / О. В. Слепцова и др. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 1. – С. 47 – 51.
3. Borisenko, A. B. Parallel Hybrid Metaheuristics Approach for Optimal Selection of Production Equipment / A. B. Borisenko, S. Gorlatch // Transactions of the TSTU. – 2018. – № 2(24). – С. 228 – 235.
4. Borisenko, A. B. Parallel MPI-implementation of the branch-and-bound algorithm for optimal selection of production equipment / A. B. Borisenko, S. Gorlatch // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2016. – № 3(22). – С. 350 – 357.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.31

А. А. Еремина, Т. А. Кондратьева*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ
ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА С ИНТЕГРАЦИЕЙ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

На сегодняшний день существует две основных тенденции в использовании энергии, которые ожидаются в будущих интеллектуальных электрических сетях:

- 1. Крупномасштабное децентрализованное производство возобновляемой энергии с помощью фотоэлектрических (PV) систем.**
- 2. Появление аккумуляторных электромобилей (EV) как будущего вида транспорта.**

Во-первых, использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, доступно для более широкой аудитории из-за падения стоимости фотоэлектрических панелей. Промышленные объекты и офисные здания в России обладают большим потенциалом для фотоэлектрических (PV) панелей с их большой площадью на плоских крышах. Примеры включают склады, промышленные здания, университеты, фабрики и т.д. Сегодня этот потенциал практически не используется. Во-вторых, электромобили представляют собой экологически чистые, энергоэффективные и бесшумные средства передвижения по сравнению с бензиновыми автомобилями. В этой статье исследуется возможность создания инфраструктуры зарядки электромобилей с использованием фотоэлектрических панелей. Система предназначена для зарядки электромобилей сотрудников на рабочих местах, когда они припаркованы в течение дня. Идея состоит в том, чтобы максимально использовать фотоэлектрическую энергию для зарядки электромобилей с минимальным обменом энергии с сетью. Преимуществами такого зарядного устройства EV–PV будут:

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Б. Борисенко.

1. Снижение спроса на энергию в сети из-за зарядки электромобилей, поскольку зарядная мощность локально генерируется «зеленым» способом с помощью солнечных батарей.

2. Батарея электромобиля служит хранилищем энергии для фотоэлектрических модулей и снижает негативное влияние крупномасштабной интеграции фотоэлектрических модулей в распределительную сеть.

3. Длительное время стоянки электромобилей открывает путь для внедрения технологии «автомобиль–сеть» (V2G), в которой электромобиль действует как управляемый резерв для интеллектуальной сети.

4. Зарядка электромобилей на рабочем месте с помощью фотоэлектрических модулей.

Зарядка электромобилей в Европе определяется стандартами. Тип вилки, широко используемый в Европе, для зарядки от сети переменного тока – это вилка Mennekes типа 2. Он поддерживает как однофазную, так и трехфазную зарядку переменным током. Однако в будущем зарядка постоянным током с использованием Chademo и комбинированного стандарта зарядки (CCS) будет наиболее предпочтительной для электромобилей от фотоэлектрических модулей на рабочем месте по следующим причинам:

- 1) и EV, и PV по своей природе являются постоянным током;
- 2) возможна динамическая зарядка электромобиля, при этом мощность зарядки электромобиля может меняться со временем;
- 3) зарядка постоянным током упрощает протокол «автомобиль–сеть» (V2G).

В этой статье будет рассмотрено зарядное устройство EV–PV на 10 кВт, которое обеспечивает как зарядку, так и разрядку автомобиля до 10 кВт. Трехфазный преобразователь, подключенный к сети переменного тока 50 Гц, был выбран как наиболее подходящая архитектура системы на основании. Поскольку автомобили длительное время припаркованы на рабочем месте (7...9 часов), быстрая зарядка электромобилей мощностью 50 кВт и более не требуется. Солнечная энергия является основным источником энергии подключенной к сети системы зарядки электромобилей и фотоэлектрических модулей. Солнечная энергия вырабатывается с помощью фотоэлектрической (PV) батареи мощностью 10 кВт, расположенной на рабочем месте. Панели могут быть расположены на крыше зданий или установлены как навес для автомобиля на солнечных батареях. Зарядное устройство EV–PV имеет два двунаправленных порта для сети и EV, а также один однонаправ-

ленный порт для PV. Фотоэлектрический преобразователь, сетевой инвертор и изолированное зарядное устройство электромобиля интегрированы в центральную линию постоянного тока. Прямое сопряжение EV и PV на постоянном токе было бы более выгодным, чем взаимодействие переменного тока из-за меньшего количества шагов преобразования и повышения эффективности [1].

3. Проектирование фотоэлектрической системы. Для оценки мощности и энергии, вырабатываемой фотоэлектрической батареей мощностью 10 кВт, в России требуется точное измерение погодных данных. Для этого используются метеорологические данные с разрешением 1 мин.

Чтобы оценить выходную мощность фотоэлектрической батареи, важно учитывать температуру окружающей среды, помимо величины падающего солнечного излучения. Фотоэлектрическая матрица рассчитана на 327 Вт при температуре окружающей среды 25 °C [2].

Для определения оптимального угла наклона годовая выработка энергии фотоэлектрической системы мощностью 10 кВт определяется для различных углов наклона. При оптимальном наклоне 28 достигается максимальный годовой выход энергии, на 2017 – 2019 годы со средним значением 10 890 кВт·ч. Соответствующая средняя дневная выработка для фотоэлектрической системы составляет 29,84 кВт·ч/день. Следует иметь в виду, что на практике установка фотоэлектрических панелей с оптимальной ориентацией может оказаться невозможной из-за характеристик крыши. Кроме того, затенение панелей из-за близлежащих зданий, деревьев и(или) других объектов снизит производительность фотоэлектрической системы. При этом ориентация крыши и затенение будут варьироваться в зависимости от конкретного случая.

4. Динамическая зарядка электромобиля. Под динамической зарядкой понимается зарядка электромобиля при переменной мощности вместо фиксированной мощности. Мотив динамической интеллектуальной зарядки электромобиля состоит в том, чтобы изменять мощность зарядки электромобиля и следовать за генерацией фотоэлектрических модулей, чтобы минимальная мощность подавалась/потреблялась из сети.

Предполагается, что все электромобили прибывают на рабочее место в 08:30 и остаются на стоянке до 17:00 на общую продолжительность 8,5ч. Сравниваются 8 различных профилей зарядки электромобилей вместе со средним профилем выработки фотоэлектрических модулей за разные месяцы. Профили зарядки здесь подразделяются на три типа – гауссовские, фиксированные и прямоугольные на

основе формы 24-часовой кривой времени мощности EV. Фиксированные и прямоугольные профили зарядки выбраны, поскольку они соответствуют текущим зарядным устройствам для электромобилей, доступных на рынке, которые могут заряжать автомобиль с фиксированным временем при переменной мощности зарядки. Гауссовские профили зарядки были выбраны из-за их способности близко соответствовать данным солнечного излучения, и они имеют свои пики в 1200 часов, когда солнце находится на пике. Энергия, передаваемая каждым профилем зарядки EPV, может быть определена путем интегрирования кривой зависимости мощности от времени для получения площади под кривой.

Все профили зарядки обеспечивают аккумулятор электромобиля мощностью 30 кВт·ч/день. Если на основе рассматривается ежедневное расстояние 50 км/день, для зарядки Nissan Leaf требуется 10 кВт·ч/день (запас хода 121 км согласно ездовому циклу EPA) при 95% эффективности зарядки. Таким образом, 30 кВт·ч/день соответствуют потребностям в энергии трех электромобилей. Он также равен среднесуточной выработке энергии фотоэлектрической системы мощностью 10 кВт.

5. Вывод. Зарядка электромобилей от солнечной энергии на рабочем месте обеспечивает большие возможности для транспорта в будущем. Он обеспечивает прямое использование фотоэлектрической энергии в течение дня и использует потенциал солнечной энергии на крышах зданий. В этой статье исследуется конструкция фотоэлектрической системы и динамическая зарядка для зарядной станции электромобилей, работающих от солнечной энергии. Средняя дневная выработка фотоэлектрической энергии летом и зимой различается в пять раз. Это требует подключения к сети зарядного устройства EV–PV для подачи энергии зимой и для поглощения избыточной солнечной энергии летом.

Список литературы

1. Потапов, А. С. Солнечный транспорт / А. С. Потапов. – М., 2009. – 166 с.
2. Мак-Вейг, Д. Применение солнечной энергии / Д. Мак-Вейг. – М., 2009. – 216 с.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Н. С. Пьяных**

**ОПТИМАЛЬНАЯ ТРАССИРОВКА
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
СЕВЕРНОГО РАЙОНА ГОРОДА РАССКАЗОВО**

Энергосбережение является на сегодняшний день наиболее актуальным вопросом на протяжении всей жизни человечества. Население увеличивается в своем количестве, а значит, и потребляемая энергия увеличивается с большей силой. Месторождения газовых источников истощены, а запасы новых не столь оптимистичны. Рост потребления газа в районах, а также масштабность распределительных систем ставят перед инженером по газоснабжению новые и сложные задачи, связанные с развитием и реконструкцией систем, повышением их надежности, необходимостью экономичного использования газа и защиты воздушного бассейна от загрязнений [1].

Распределительные сети являются сложными многокольцевыми системами, экономичное проектирование которых должно базироваться на современных методах оптимизации с учетом вероятностного характера функционирования и обеспечения требуемой надежности подачи газа потребителям. Вследствие того, что природный газ является высокоэффективным энергоносителем, газификация может составить основу социально-экономического развития, обеспечить улучшение условий труда и быта населения, а также снижение загрязнения окружающей среды. Использование газового топлива позволяет внедрять эффективнее методы передачи теплоты, создавать экономические и высокопроизводительные тепловые агрегаты с меньшими габаритными размерами, стоимостью, а также повышать качество продукции.

Развитие добычи газа обуславливается ростом газопотребления, который осуществляется, во-первых, путем увеличения объемов использования его в городах, уже газифицированных к настоящему времени, а во-вторых, за счет газификации новых городов и населенных пунктов, в том числе в сельской местности. Рост потребления газа в городах, поселках и сельской местности, а также масштабность распределительных систем ставят перед инженером по газоснабжению новые и сложные задачи, связанные с развитием и реконструкцией

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Немтинова.

систем, повышением их надежности, необходимостью экономичного использования газа и защиты воздушного бассейна от загрязнений. Распределительные сети являются сложными многокольцевыми системами, экономичное проектирование которых должно базироваться на современных методах оптимизации с учетом вероятностного характера функционирования и обеспечения требуемой надежности подачи газа потребителям. Снижение стоимости и металлоемкости систем газоснабжения имеет большое значение. Вторая, не менее важная задача заключается в обеспечении полного и надежного газоснабжения всех предусмотренных потребителей. Именно скоординированное решение обеих задач позволяет достигнуть высокой эффективности использования газа. Неоспоримые достоинства газа и наличие его значительных запасов создают условия для дальнейшего развития газоснабжения страны [2].

Выбор трассы газопроводов проводится с учетом коррозионной активности грунтов и наличия блуждающих токов, плотности застройки, экономической эффективности и т.д. Вводы газопроводов в жилые дома предусматриваются в нежилые помещения, доступные для осмотра и ремонта газовых систем. Целесообразно вводы газопроводов в общественные и жилые здания осуществлять непосредственно в помещения, где установлены газовые приборы. Вводы не должны проходить через фундаменты и под фундаментами зданий. Соединение стальных труб выполняется на сварке. Резьбовые и фланцевые соединения предусматриваются в местах установки запорной арматуры, горелок, контрольно-измерительных приборов, автоматики и др. Минимальные расстояния по горизонтали и вертикали между газопроводами и зданиями, промпроводками, сооружениями принимаются проектными организациями в соответствии с действующими нормативными документами. Допускается уменьшение этих расстояний в стесненных условиях. Решение об этом принимается проектной организацией с указанием дополнительных мероприятий по качеству применяемых труб, контролю сварных соединений и др. Глубина прокладки газопроводов принимается не менее 0,8 м до верха газопровода или футляра, допускается уменьшение до 0,6 м в местах, где нет проезда транспорта.

Система газоснабжения района должна обеспечивать бесперебойную подачу газа потребителям, быть безопасной в эксплуатации, простой и удобной в обслуживании, а также предусматривать возможность отключения отдельных ее элементов или участков газопроводов для производства ремонтных и аварийных работ. Сооружения, оборудованные

дование и узлы в системе газоснабжения следует применять однотипные. Принятый вариант системы должен иметь максимальную экономическую эффективность системы газоснабжения.

Источниками питания системы газоснабжения северного района города Рассказово являются городские электрические станции и понижающие подстанции. Центром питания называется распределительное устройство генераторного напряжения электрической станции или распределительное устройство вторичного напряжения понижающей подстанции, к шинам которого присоединяются распределительные сети данного района. Электрическими станциями являются обычно теплоэлектростанции, обеспечивающие тепловой и частично электрической энергией коммунально-бытовые и промышленные объекты.

Понижающими подстанциями систем электроснабжения северного района города Рассказово являются: городские подстанции (35...220 кВ), располагающиеся вблизи границы города; подстанции глубоких вводов 110...220 кВ, сооруженные непосредственно на территориях жилых районов и в промышленных зонах крупных городов; транспортные подстанции 10(6) – 20/0,38 кВ коммунально-бытовых и промышленных потребителей электроэнергии; выпрямительные подстанции городского и пригородного электрифицированного транспорта.

Линии электропередачи электрических сетей состоят из: воздушных линий 35...220 кВ внешнего электроснабжения города; кабельных (или воздушных) линий 110...220 кВ глубоких вводов высокого напряжения в центральные районы жилых и промышленных территорий; кабельных (или воздушных) линий наружных распределительных линий 0,38 – 10(6) – 20 кВ; электрических линий внутренних сетей 0,38 кВ жилых, общественных и производственных зданий [4].

Основными группами потребителей электроэнергии в системах электроснабжения северного района города Рассказово являются: коммунально-бытовые потребители; промышленные предприятия; электрифицированный городской и пригородный транспорт; в отдельных случаях – поселки, предприятия промышленного и сельскохозяйственного производства пригородных зон. Коммунально-бытовые потребители электроэнергии – это жилые, административные, культурно-массовые, учебные, лечебные и тому подобные здания и общественных зданий.

В последние годы в электрических сетях северного района города Рассказово начали применяться так называемые глубокие вводы. Глубоким вводом называется система электроснабжения с приближением

напряжения 110...220 кВ к центрам нагрузок потребителей с наименьшим количеством ступеней промежуточной трансформации. Применение глубоких вводов вызвано ограниченностью радиуса действия распределительной сети 10(6) – 20 кВ при большой плотности нагрузки потребителей.

Правила прокладки кабельных линий электроснабжения. Кабельные прокладки требуют меньших площадей по сравнению с воздушными и могут применяться при любых природных и атмосферных условиях. Трассу для кабельных линий выбирают кратчайшую, с учетом наиболее дешевого обеспечения их защиты от механических повреждений, коррозии, вибраций, перегрева и от повреждений при возникновении электрической дуги в соседнем кабеле.

Способ и конструктивное выполнение прокладки выбирают в зависимости от числа кабелей, условий трассы, наличия или отсутствия взрывоопасных газов тяжелее воздуха, степени загрязненности почвы, требований эксплуатации, экономических факторов.

Снижение стоимости и металлоемкости систем газоснабжения имеет большое значение. Вторая, не менее важная задача, заключается в обеспечении полного и надежного газоснабжения всех предусмотренных потребителей. Именно скоординированное решение обеих задач позволяет достигнуть высокой эффективности использования газа. Неоспоримые достоинства газа и наличие его значительных запасов создают условия для дальнейшего развития газоснабжения страны.

Список литературы

1. СНиП 42 01-2002. Газораспределительные системы – Введ. 2003-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 2003.
2. Пахомов, П. И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П. И. Пахомов, В. А. Немтинов. – М., 2009. – 123 с.
3. Немтинов, В. А. Об оценке эффективности инвестиционной деятельности при размещении химических производств / В. А. Немтинов, Ю. В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 375 – 382.
4. Горелов, И. А. Компьютерные технологии при решении вопросов развития территорий городских муниципальных образований / И. А. Горелов, В. А. Немтинов // Информационное общество. – 2014. – № 1. – С. 49 – 54.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 656.1

Т. А. Кондратьева, А. А. Еремина*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Для современного человека автотранспорт стал неотъемлемой частью повседневной жизни. За время существования автомобилей накопилась значительная масса минусов, проблем и неудобств, а также критически важных последствий, связанных с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Совокупность всех этих факторов побуждает человечество начать революцию в сфере личного транспорта, а заодно, и в структуре энергопотребления.

За последние несколько лет транспортные средства, которые получают большую часть энергии от электросети (включая полностью электрические автомобили и гибридные автомобили с подзарядкой от электросети), достигли заметного распространения на рынке. Такие виды автомобилей уменьшают потребление ископаемого топлива (газа, нефти и т.п.) и, следовательно, уменьшают количество выбросов в окружающую среду.

Первоначально предполагалось, что ранние поколения электромобилей будут связаны с электросетью только для зарядки аккумуляторов. Поскольку с увеличением количества электромобилей нагрузка на электросеть вырастает, необходимо разрабатывать оптимальные методы зарядки для снижения нагрузки на электросеть. Одним из таких методов является идея V2G (vehicle-to-grid, в дословном переводе от «транспортного средства к сети»), подразумевающая подключение машины в общую электрическую сеть для подзарядки автомобиля с возможностью выдачи электроэнергии обратно в сеть. С помощью этой системы электромобили следующего поколения будут работать как устройства, накапливающие электроэнергию.

Зарядку электрических и гибридных автомобилей можно разделить на четыре различных типа, в зависимости от уровня зарядного напряжения и расположения.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Б. Борисенко.

Зарядка типа 1 (Type 1) – преимущественно осуществляется от бытовой сети. Это наименее мощный тип зарядки, интервал подзарядки электромобиля с помощью него составляет 12 часов. Процесс происходит без специального оборудования, при помощи стандартной розетки и специального адаптера переменного тока. Данный тип зарядки практически не применяется сегодня из-за низкой безопасности подключений.

Зарядка типа 2 (Type 2) – используется в быту или на автозаправочных комплексах. Это стандартный тип зарядной станции переменного тока, интервал подзарядки с помощью которого составляет 6...8 часов при емкости батареи 20...24 кВт/ч. Применяется для зарядки электромобилей всех типов с традиционными разъемами подключаемого коннектора с системой защиты внутри кабеля.

Зарядка типа 3 (Type 3) – применяется на станциях с переменным током. Является самым мощным типом подзарядки, к нему применимы разъемы Type 1 для однофазной и Type 2 для трехфазной сети.

Зарядка типа 4 (Type 4) – подобные зарядные комплексы можно встретить на городских парковках и шоссе. Являются типом зарядных станций, в которых применяется не переменный, а постоянный ток. Их еще называют станциями быстрой зарядки. Мощность подобных комплексов для некоторых электромобилей бывает слишком высока, поэтому подходит не всем электромобилям. У тех же, что поддерживают подобный стандарт, аккумуляторы заряжаются до 80% в течение 30 минут. Обустройство такого комплекса требует отдельной линии электроснабжения большой мощности и крупных денежных вложений.

В настоящее время ученые прилагают усилия для оптимального решения ряда задач, связанных с распространением электротранспорта. Например таких, как минимизация эксплуатационных и капитальных затрат при развертывании зарядной инфраструктуры; оптимизация нагрузки на зарядную станцию; максимизация общих доходов, интеграции в зарядную инфраструктуру возобновляемых источников энергии (ВИЭ); оптимизация среднего уровня заряда батарей.

Оптимизацию зарядки электромобилей от электросети с использованием биотехнических методов вычислительного интеллекта можно отнести к частному случаю теории об искуственном интеллекте. Основой биологического вычислительного интеллекта принято считать природу. Она, безусловно, является огромным и потенциальным источником вдохновения для решения сложных проблем в области информатики, поскольку она демонстрирует очень динамичный, разнообразный, сложный и надежный подход. Поэтому, решая сложные реальные проблемы, для которых математическое или традиционное моделирование может быть бесполезным по причинам многосложно-

сти для математических рассуждений или же содержания некоторых неопределенностей во время процесса, а возможности того, что процесс может быть просто стохастическим по своей природе, стоит выбрать методику вычислительно интеллекта.

Биологические методы вычислительного интеллекта представляют собой альтернативные инструменты оптимизации, позволяющие справиться с неплавным и сложным планированием энергосистемы. Более того, такие биологические методы поддерживают стохастические типы решений, а также направляют их к оптимальным решениям с помощью эвристических подходов. Эти методы обычно не гарантируют достижение глобального оптимума, но в большинстве своем устойчивы к многомерным и нелинейным системам из-за этого процесса. Следовательно, упомянутые методы являются широко распространенным выбором для разъяснения ограничений и функций пригодности, которые нельзя бесконечно дифференцировать как сценарии двоичной зарядки/разрядки электромобилей [1].

Существует множество подходов к данной теории, однако различные решения путем соответствующей разработки методов интеллектуального планирования должны привести к плавной интеграции электромобилей в энергосистему.

В одном из рассмотренных методов использовали оптимизацию муравьиных колоний для планирования зарядки электромобилей на стороне трансформатора. Удалось прийти к выводу, что вычислительная нагрузка оптимизации муравьиных колоний относительно невелика и поэтому подходит для крупномасштабного применения. В результате моделирования получилось соотнести и сравнить кривую зарядки нагрузки электротранспорта с эффектом колебания нагрузки. Цель предложенного метода – снизить нагрузку на энергосистему при пиковом спросе. В другом методе представлена политика централизованного планирования для начисления платы за энергию электромобиля с использованием генетического алгоритма, чтобы облегчить размер и сложность оптимизации [2].

Одной из современных стратегий зарядки от электротранспорта является интеллектуальная зарядка. Она основана на зарядке электромобилей в наиболее выгодных условиях, когда спрос и цена на электроэнергию самые низкие при избыточной мощности сети. Результаты метода оптимизации продемонстрировали снижение потерь с меньшей вычислительной сложностью за счет процесса случайного поиска. В качестве будущих исследований предполагается моделирование для более крупных распределительных систем.

Применив генетический алгоритм сортировки без доминирования к модели электромобиля с подключаемым модулем, чтобы найти оп-

тимальные схемы зарядки, потребителю было предложено предпочтительно заряжать подключаемый электромобиль в непиковые часы и непосредственно перед началом путешествия, чтобы эффективно снизить затраты на электроэнергию и износ аккумулятора [3].

Различные варианты оптимизации роя частиц использовались также для других параметров, связанных с зарядкой электромобилей. В одном из методов функция пригодности заключалась в максимальном увеличении среднего состояния заряда батареи, затрат на энергию и оставшегося времени зарядки электротранспорта, что очень нелинейно по своей природе и трудно разрешить с помощью традиционных методов оптимизации. При этом алгоритм адаптивного веса на основе оптимизации роя частиц сравнивали с методом внутренней точки и методом генетического алгоритма. Предлагаемый метод превосходит их с точки зрения возможностей эксплуатации. Это демонстрирует превосходство биотехнического метода вычислительного интеллекта [4].

На практике не существует единого метода оптимизации, который мог бы лучше всего работать для всех типов задач оптимизации энергосистемы. Применение биотехнических методов вычислительного интеллекта для оптимизации зарядки электромобилей – это новая исследовательская область, привлекающая значительное внимание ученых. Поэтому исследователи этой области должны попытаться применить теоретические знания для решения проблем зарядки электромобилей в реальном времени, чтобы реализовать успешную оптимизацию подзарядки электротранспорта в интеллектуальной сети.

Список литературы

1. Карамян, О. Ю. Электромобиль и перспективы его развития / О. Ю. Карамян, К. А. Чебанов, Ж. А. Соловьева // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12-4. – С. 693 – 696.
2. Бинита, С. Обзор алгоритмов оптимизации, вдохновленных биологией / С. Бинита, С. С. Сатъя // *Журнал программных вычислений*. – 2012. – С. 137 – 151.
3. Комплексный обзор теоретических основ / Н. Аднан, С. М. Нордин, И. Рахман и др. // *Журнал энергетических исследований*. – 2017. – С. 317 – 335.
4. Управление парком электромобилей в интеллектуальных сетях: обзор услуг, аспекты оптимизации и управления / Х. Мораис, Дж. Ху, Т. Соуза, М. Линд // *Энергетические исследования*. – 2016. – № 56. – С. 1207 – 1226.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

1. *Ростова Д. П., Кузьменко К. К.* ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОГО РАВНОВЕСИЯ В ОЛЕУМЕ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

2. *Желудкова А. М.* О КРИПТОЗАЩИТЕ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 7
3. *Желудкова А. М.* ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 11
4. *Загородников М. А., Давыдова Д. В.* ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ LTE-СИГНАЛОВ НЕСКОЛЬКИХ ОПЕРАТОРОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ 15

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ, ПРИБОРЫ

5. *Парсков В. А.* СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ 19
6. *Нистратов В. О., Степанов И. С.* ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ 23

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

7. *Алиев Р. Э., Попова А. А.* КОМПАКТИРОВАННЫЙ НАНОПОРИСТЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА 28
8. *Аникин С. Н.* РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКОГО СКАНАТОРА 32
9. *Балашов Д. Ю.* РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ СУСПЕНЗИИ НАНОГРАФИТА 36
10. *Бобылев В. Ю.* ВИДЫ БРАКА ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ 40

11.	<i>Верченев В. С., Мордасов Д. М., Мордасов М. Д., Кузнецова А. А.</i> ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ	44
12.	<i>Воронин Н. В., Рыбин Г. В.</i> СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ	48
13.	<i>Ермакова С. А.</i> ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА	51
14.	<i>Зайцев И. А., Полубояринов Д. А.</i> СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК	55
15.	<i>Иванчей Ю. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ ИЗ ТИТАНА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА	59
16.	<i>Крылов А. В.</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОРОШЕНИЯ В ПЕННОМ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕ	63
17.	<i>Кузнецова Т. С., Бабкин А. В., Бураков А. Е.</i> ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ АЭРОГЕЛИ ДЛЯ СОРБЦИИ НЕФТИ И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД	67
18.	<i>Матрохин М. А.</i> ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ НАГРЕВА РАСТВОРА В УСТАНОВКЕ ПОКРЫТИЯ НАСЫПЬЮ	71
19.	<i>Мкртчян Э. С., Нескоромная Е. А., Ананьева О. А., Ревякина Н. А.</i> КОМПОЗИЦИОННЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИАНИЛИНОМ, ДЛЯ ЖИДКОФАЗНОЙ СОРБЦИИ ТОКСИЧНЫХ ПОЛЛУТАНТОВ	74
20.	<i>Мордасов М. Д., Мордасов Д. М., Верченев В. С.</i> ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	78
21.	<i>Скоморохова А. И.</i> МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	82
22.	<i>Поветкина Ю. С., Фунбаю М. А., Чуприкова А. А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА	86
23.	<i>Фунбаю М. А., Поветкина Ю. С., Чуприкова А. А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ	89
24.	<i>Чуприкова А. А., Поветкина Ю. С., Фунбаю М. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФТОРОПЛАСТА Ф-42 ПОСЛЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ СВЧ-ОБРАБОТКИ	93

БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

25. *Венцера Н. В.* РАЗРАБОТКА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ФАНТОМОВ ДЛЯ НУЖД ОПТИЧЕСКИХ ТОМОГРАФОВ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СКАНЕРОВ 98
26. *Еськова М. А., Устинская Я. В., Брянкина А. К., Протопопов И. А., Шишков Е. И., Темнов М. С.* ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 102
27. *Родионов Д. А.* УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ 106
28. *Темнов М. С., Устинская Я. В., Еськова М. А., Кокорев Н. А., Меронюк К. И., Маркин И. В.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА БЕЛКА 110
29. *Устинская Я. В., Еськова М. А., Брянкина А. К., Протопопов И. А., Шишков Е. И., Темнов М. С.* К ВОПРОСУ О КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLORELLA VULGARIS* ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК 115

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ

30. *Балашов Д. Ю.* КИНЕТИКА УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ СУСПЕНЗИИ НАНОГРАФИТА 120
31. *Левин А. А., Лазарев Д. С.* ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ 124
32. *Рухов А. В.* РАЗРАБОТКА КОНСИСТЕНТНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ 128
33. *Рыбин Г. В., Воронин Н. В., Самохвалов Д. С.* АВТОМАТИЗАЦИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ЭКСТРАГИРОВАНИЯ 131
34. *Храмцов В. В.* ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА НИКЕЛИРОВАНИЯ 135

**ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ,
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

35. *Еремина А. А., Кондратьева Т. А.* ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА С ИНТЕГРАЦИЕЙ ВОЗВОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИ 140
36. *Пьяных Н. С.* ОПТИМАЛЬНАЯ ТРАССИРОВКА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ СЕВЕРНОГО РАЙОНА ГОРОДА РАССКАЗОВО 144

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ

37. *Кондратьева Т. А., Еремина А. А.* ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА 148

Научное электронное издание

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Сборник научных статей
молодых ученых, аспирантов и студентов

Выпуск XII

Редактор И. В. Калистратова

Инженер по компьютерному макетированию М. Н. Рыжкова

ISBN 978-5-8265-2286-8



Подписано к использованию 16.12.2020.
Тираж 50 шт. Заказ № 148

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru

