



*Году науки
и технологий
посвящается*

*В рамках
Фестиваля науки
в Тамбовской
области*



ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

ВЫПУСК XIII

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА,
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ, ПРИБОРЫ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ
БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ
ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Научное электронное издание

**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2021**

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 XIII

**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»
2021

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. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – Вып. XIII. – 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 978-5-8265-2412-1

В сборнике представлены статьи участников отборочного тура программы У.М.Н.И.К. 2021 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

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

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

ISBN 978-5-8265-1643-0 (общ.)
ISBN 978-5-8265-2412-1 (вып. XIII)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2021

УДК 004.912

*А. С. Евдокимов**

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДЕПОНИРОВАННЫХ КЛЮЧЕЙ ШИФРОВАНИЯ

В последние годы все большую популярность набирают различные мессенджеры, использующие сквозное шифрование и криптовалюты, основанные на технологии блокчейна.

Использование в мессенджерах стойких алгоритмов шифрования позволило бы обеспечить защиту тайны личной жизни граждан, но, в то же время это неизбежно создает угрозу национальной безопасности, так как ими могут воспользоваться террористы, экстремисты и другие преступники.

Криптовалюты, по сути своей, являются децентрализованными. В случае потери доступа к банковскому счету, пользователь банка может написать запрос в филиал, подтвердить свою личность, после чего, банк восстанавливает доступ к счету. В случае криптовалют, при потере доступа к кошельку, средства, содержащиеся на нем, будут утеряны навсегда. Таким образом, пользователь сам заинтересован в раздельном сохранении теней секрета, чтобы не потерять доступ к криптовалюте, к примеру, при повреждении оборудования, на котором хранится ключ.

Пороговая схема разделения секрета Шамира позволяет обеспечить безопасное хранение ключей шифрования [1]. Если какой-либо центр хранения потеряет ключ, или будет взломан, это не приведет к негативным последствиям для пользователей. Данная идея может позволить вывести криптовалюты из теневой части рынка, введя их в правовое поле. Необходимо лишь создать соответствующие законы, которые не позволят использовать криптовалюты, без выдачи теней государственным центрам хранения. Так же, данная схема может использоваться для «холодного» хранения теней на внешних носителях данных, таких как оптические диски. Это позволит восстановить секрет даже при поломке или утере части накопителей.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Информационные системы и защита информации», ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Гриднева.

Депонирование ключей – это предоставление ключей шифрования или их частей (теней), третьей стороне. Депонирование необходимо для обеспечения баланса между тайной личной переписки граждан и полной криптоанархией, позволяющей криминальным элементам безопасно общаться по каналам связи, используя стойкое шифрование, таким образом, угрожая интересам национальной безопасности.

В США были попытки депонировать ключ, используемый для шифрования данных, передаваемых по каналам *Integrated Services Digital Network*, факсам, и любой связи того времени. Для этого даже был разработан стандарт, который называется *Escrowed Encryption Standard*. Реализованы эти попытки были при помощи микросхемы *Clipper*, занимающейся шифрованием, и расшифрованием данных. Так же, агентство национальной безопасности США (*NSA*) разработало дисциплину раскрытия уникального ключа микросхемы. Микросхема была разработана таким образом, чтобы было невозможно считать с нее данные по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок (название технологии – *TEMPEST*) [4].

Проектируемая система должна иметь как можно большее число ЗЦОДов (защищенных центрах обработки данных) и, соответственно, большое число теней. Структурная схема проектируемой системы представлена на рис. 1.

Перейдем к конкретным примерам схем, которые могли бы помочь пользователям мессенджеров сохранять тайну личной переписки при обеспечении национальной безопасности, а владельцам криптовалютных кошельков обеспечить сохранность своих средств при утере ключа. Основная идея состоит в том, что в геометрии двумерного пространства, по двум точкам можно построить прямую, по трем параболу, по четырем кубическую параболу, и так далее, повышая степени.

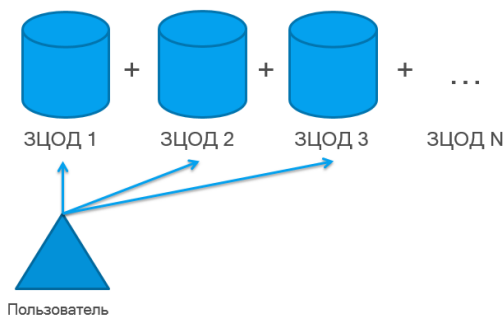


Рис. 1. Схема системы хранения депонированных ключей

Иными словами, для задания степенного многочлена k требуется число точек, большее на единицу, то есть $k + 1$.

Для того чтобы восстановить ключ шифрования можно было бы только по определенному числу долей (теней) n , его сворачивают в многочлен степени $n + 1$, над конечным полем G . Таким образом, чтобы восстановить секрет, необходимо будет собрать вместе n теней, а значит и значений многочлена в определенных точках. Если при невозможности восстановления секрета не удастся собрать необходимое число теней, то точек будет недостаточно, и восстановление секрета будет невозможно. В теории, число точек многочлена не ограничено, но ввиду конечности памяти ЭВМ и разумной достаточности оно всегда ограничено размерностью поля Галуа порядка G .

Попробуем описать алгоритм более кратко. Допустим, мы имеем поле Галуа G . Возьмем n случайных элементов данного поля, обладающих свойством дискретности, и не попадающих в ноль [2].

Выберем произвольный набор элементов t поля Галуа G . Число элементов набора будет необходимым для восстановления секрета. Именно из этого множества чисел будет составляться искомый пороговый многочлен над полем Галуа, степени $t - 1$, где $1 < t \leq n$.

Допустим, искомый многочлен получен, теперь найдем его значения (x, y) в n точках. Остается лишь распределить полученные значения каждому из ЗЦОД.

Заметим, что через две точки всегда можно провести неограниченное число квадратичных парабол (рис. 1). Но, чтобы выбрать из них нужную параболу понадобится третья точка [3].

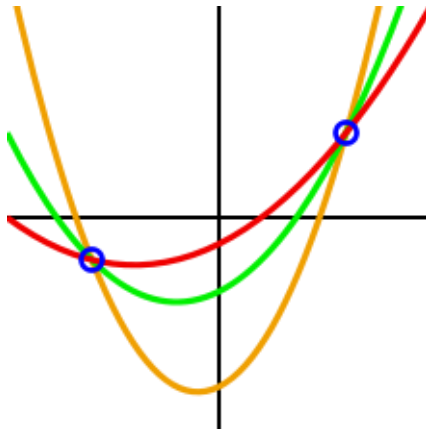


Рис. 1. Квадратичные параболы

Восстановление секрета не составит труда, его можно произвести с помощью любой формулы интерполяции, например, при помощи наиболее популярной формулы Ньютона, Бесселя или интерполяционного полинома Лагранжа [3].

Основное достоинство пороговой схемы Шамира – масштабируемость. Если возникнет необходимость добавить еще один или несколько ЗЦОД, то нам будет необходимо просто вычислить значение полинома в новой точке и добавить его значение к уже созданным ранее несекретным элементам. Если же, наоборот, какой-либо ЗЦОД исключен, то это не приводит к необходимости генерации нового набора точек. По сути, это просто ослабит схему, переведя ее из состояния из (n, t) -пороговой в $(n - 1, t - 1)$ -пороговую.

Решение проблемы депонирования ключей – сложная задача, потому что необходимо сохранять секретность ключевых данных, чтобы обеспечить безопасность хранения криптовалюты и тайну личной жизни.

Предложенная система позволяет пользователю безопасно хранить разделенный секрет в разных защищенных центрах обработки данных (ЗЦОД), что позволит восстановить его в случае потери доступа к тени, или в случае атаки на ЗЦОД.

Еще в 1997 году известнейший криптограф Б. Шнайер четко указал на то, что государственные системы шифрования не получат широкого распространения в будущем [1]. Тем не менее, депонирование ключей возможно осуществить, если оно будет выгодно самому пользователю.

Стоит добавить, что весь информационный обмен между субъектами взаимоотношений, приведенных в примерах использования депонирования ключей, может быть реализован в электронном виде, что неизбежно потребует принятия мер по обеспечению безопасности информации, передаваемой по каналам связи.

Актуальным остается вопрос защиты целостности и корректности депонируемых теней. Необходимо предусмотреть защиту депонируемых теней от умышленного или случайного искажения, а также возможность обнаружить любого недобросовестного участника схемы. Ведь любой из участников схемы может попытаться помешать успешному восстановлению ключа. Например, пользователь может после депонирования ключа шифрования использовать совсем другой ключ. И когда, после соблюдения всех предусмотренных формальностей, ключ не восстановится, заявить, что он не знает причину, по которой это могло произойти.

Список литературы

1. Шнайер, Б. Разделение секрета // Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си = *Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C* / Б. Шнайер. – М. : Триумф, 2002. – С. 93 – 96. – 816 с.
2. Шнайер, Б. Алгоритмы разделения секрета // Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си = *Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C* / Б. Шнайер. – М. : Триумф, 2002. – С. 588 – 591. – 816 с.
3. Блэкли, Д. Обобщенные идеальные схемы, разделяющие секрет, и матроиды / Д. Блэкли, Г. А. Кабатянский // Проблемы передачи информации. – 1997. – Т. 33, вып. 3. – С. 102 – 110.
4. Шенец, Н. Н. Об идеальных модулярных схемах разделения секрета в кольцах многочленов от нескольких переменных / Н. Н. Шенец // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии: материалы международного научного конгресса 31 окт. – Минск : БГУ, 2011. – Т. 1. Статьи факультета прикладной математики и информатики. – С. 169 – 173.

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

*А. А. Горбачев**

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ ПО ФОТОГРАФИЯМ ЛИСТЬЕВ

Текущая диагностика заболеваний сельскохозяйственных культур, основанная на исследованиях, проводимых с участием человека, требует много времени и средств, и, хотя технологии искусственного интеллекта могут повысить эффективность определения заболеваний, большая вариативность симптомов болезней из-за разного возраста инфицированных тканей растений, генетических вариаций и условий освещения снижает точность их детектирования.

В работе приводятся результаты исследований технологий глубокого обучения, которые могут быть использованы в системе распознавания болезней растений по фотографиям листьев с целью повышения качества распознавания.

Были изучены современные архитектуры сверточных нейронных сетей для создания высокоточных решений, включая архитектуры класса ResNet со сжатием и стимуляцией [1] и архитектуры класса EfficientNet [2].

Лучшим решением класса Squeeze-and-Excitation ResNets по результатам экспериментов стала архитектура Se-ResNext50, которая представляет собой нейронную сеть ResNeXt с добавлением шага сжатие-и-стимуляция.

Лучшим решением класса EfficientNet стала архитектура EfficientNetV2. Основным строительным блоком сетей класса EfficientNet является блок MBConv (мобильная обращенная свертка с узким местом), к которому добавлен шаг сжатие-и-стимуляция. Еще одним отличительным аспектом этой архитектуры является использование функции активации Swish вместо ReLU.

Все предобученные модели были взяты из репозитория PyTorch Image Models [2]. Для проведения экспериментов использовался фреймворк PyTorch Lightning. Во время исследования выполнялось обучение моделей с нуля и с использованием трансферного обучения для повышения скорости обучения и точности распознавания с целью

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. И. Елисеева.

создания эффективных и небольших моделей для применения их в производственной среде, в том числе в связке с мобильными устройствами. В качестве варианта трансферного обучения использовался способ Noisy Student.

Известно, что производительность методов глубокого обучения улучшается при комбинировании методов аугментирования данных и методов обучения. В исследовании использовались методы манипулирования изображениями, состоящие из изменения яркости, контрастности, насыщенности и оттенка изображения, поворота, горизонтальных и вертикальных отражений (листинг 1) и смешивания. Для реализации методов аугментации за исключением методов смешивания использовался модуль transforms библиотеки torchvision из экосистемы PyTorch.

```
train_transform = tsfm.Compose([
    tsfm.RandomApply([tsfm.ColorJitter(0.4, 0.4, 0.4),
        tsfm.RandomAffine(degrees=10),], p=0.3),
    tsfm.RandomHorizontalFlip(p=0.3),
    tsfm.RandomVerticalFlip(p=0.3),
    tsfm.ToTensor(), tsfm.Normalize((0.485, 0.456,
        0.406), (0.229, 0.224, 0.225)),])
```

Листинг 1 Тренировочные аугментации

Также были протестированы три метода обучения, включая офлайн-обучения, онлайн-обучение и смешанный метод.

Предложенный метод глубокого обучения был протестирован на двух наборах данных с болезнями листьев яблонь: Plant Pathology 2020 – FGVC7 и Plant Pathology 2021 – FGVC8. Ансамбль из моделей Se-ResNext50 и EfficientNetV2 позволил получить на приватной части указанных выше данных значение метрики $f1=0.88325$ при значении метрики $accuracy=0.96241$.

Набор данных Plant Pathology 2020 состоит из 3 651 RGB-изображения листьев яблонь, пораженных болезнями. В наборе данных Plant Pathology 2021 – FGVC8 было значительно увеличено количество изображений листьев и добавлены дополнительные категории болезней. Набор данных Plant Pathology 2021 – FGVC8 содержит уже около 23 000 высококачественных RGB-изображений болезней листьев яблони. Оба набора данных проаннотированы экспертами. Наборы данных отражают реальные «полевые» сценарии получения фотографий садоводами/фермерами: фон изображений листьев неоднородный,

так как фотографии получены на разных стадиях зрелости плодов яблони и в разное время суток при различных настройках камеры.

Решаемая задача является задачей многоклассовой multilabel-классификации. Система распознавания болезней растений по фотографиям листьев позволяет детектировать отсутствие заболевания или наличие заболеваний из следующего списка: поражение ржавчинным грибом (ржавчина), поражение мучнисторосяным грибом (мучнистая роса), поражение сумчатым грибом (парша), поражение грибом *Sphaeropsis malorum* (черная гниль). Помимо этого, должна быть выполнена классификация тестового оптического изображения в одну из 12 категорий, представляющих собой комбинации заболеваний, перечисленных выше.

В рамках исследования было выполнено тестирование вариантов смешивания изображений с целью выявления наиболее эффективных аугментаций для задач multilabel-классификации. Установлено, что модифицированный вариант аугментации CutMix [4], учитывающий возможность наличия нескольких одновременных заболеваний (нескольких меток классов), позволяет улучшить обобщающую способность моделей. Пример применения модифицированной аугментации CutMix к паре изображений показан на рис. 1: ‘заболевание1’ + ‘заболевание2’ = ‘заболевание1, заболевание2’.

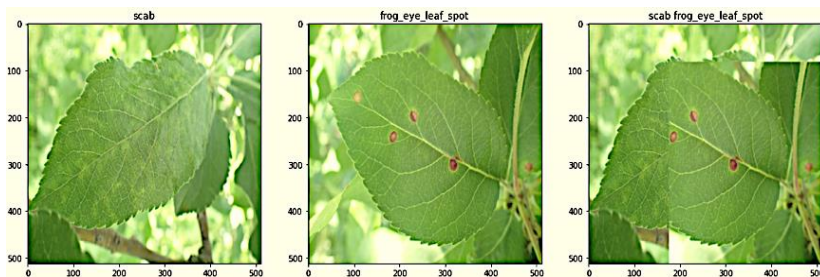


Рис. 1. Пример смешивания изображений с использованием модифицированной аугментации CutMix

Установлено, что модифицированный вариант аугментации Mosaic, учитывающий возможность наличия нескольких одновременных заболеваний, также позволяет улучшить обобщающую способность моделей. Пример применения модифицированной аугментации Mosaic к четверке изображений показан на рис. 2: ‘заболевание1’ + ‘заболевание1’ + ‘заболевание2’ + ‘заболевание3’ = ‘заболевание1, заболевание2, заболевание3’.

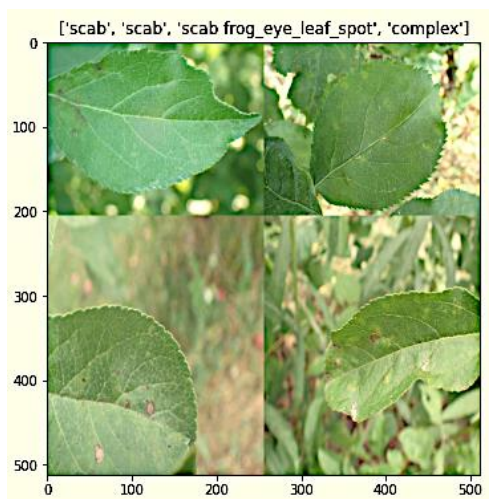


Рис. 2. Пример смешивания изображений с использованием модифицированной аугментации Mosaic

Ансамбль из моделей Sc-ResNext50 и EfficientNetV2 с применением смешивающих аугментаций позволил получить на частной части датасетов Plant Pathology 2020 – FGVC7 и Plant Pathology 2021 – FGVC8 значение метрики $f1=0.88548$ при значении метрики $accuarcy=0.97162$, что превышает лучшее публичное значение качества моделей, зафиксированное на платформе Kaggle.

Список литературы

1. Hu J., Shen L., Sun G. Squeeze-and-excitation networks // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – С. 7132 – 7141.
2. Tan M., Le Q. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks // International Conference on Machine Learning. – PMLR, 2019. – С. 6105 – 6114.
3. URL : <https://github.com/rwightman/pytorch-image-models>
4. Yun S. et al. Cutmix: Regularization strategy to train strong classifiers with localizable features // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2019. – С. 6023 – 6032.

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

*Н. С. Завражнев, А. С. Евдокимов, И. Р. Рудь**

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИ ЗНАЧИМОЙ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ АУДИО- И ВИДЕОФАЙЛОВ НА ОСНОВЕ ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С УЧЕТОМ НЕЧЕТКИХ КОЛЛОКАЦИЙ

В современном мире все чаще при решении различного рода производственных и управленческих задач сотрудники компаний сталкиваются с необходимостью анализа аудио- и видеоинформации (АВИ) больших объемов. Проблема анализа такой информации заключается в том, что для нормального ее восприятия невозможно сократить время обработки, в отличие от текстовой информации, где скорость чтения играет большую роль. При выполнении производственных и управленческих задач время является критическим ресурсом. Потому обработка больших объемов АВИ непосредственно сопряжена с финансовыми затратами и, зачастую, компаниям приходится нанимать дополнительный персонал, который необходим для качественной работы с большими объемами АВИ. Таким образом, ускорение обработки информации, заключенной в аудио- и видеофайлах (АВФ) позволит снизить издержки работы подобных компаний. Поэтому актуальной является задача автоматического построения саммари, содержащего семантически значимую часть текстовой информации, изложенной в АВФ.

Для решения данной задачи предлагается двухэтапный алгоритм (рис. 1), в котором на первом этапе происходит построение текста на основе аудиодорожки АВФ, а на втором из полученного текстового документа формируется саммари, в котором заключена семантика исходного АВФ.



Рис. 1. Схема работы алгоритма

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Информационные системы и защита информации», ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. В. Полякова.

Вместе с тем, есть ряд проблем, стоящих на пути автоматизации извлечения семантически значимой текстовой информации. Во-первых, отсутствие знаков препинания и разбиения на предложения текста, представленного в АВФ. Во-вторых, низкое качество современных моделей, анализирующих текстовые документы на основе семантики.

Для решения первой проблемы предлагается рассмотреть возможность анализа пауз в звуковой дорожке АВИ. На основе выявления, учета и анализа пауз предлагается расставить псевдознаки препинания, то есть знаки, не отражающие реальное разбиение на предложения, но позволяющие разбить полученную текстовую информацию на группу семантически слабо связанных элементов.

Решением второй проблемы может стать использование нечетких коллокаций и антологий в модели латентно-семантического анализа. Для этого целесообразно воспользоваться обобщенной векторно-пространственной моделью текстовой коллекции [1]. Под коллокацией понимается коллективная локация термов, то есть группа термов, расположенных рядом друг с другом [2]. Классически термы в коллокации располагаются непосредственно друг за другом. Однако есть работы [3], в которых термы могут располагаться на различном расстоянии друг относительно друга. Причем это расстояние может быть задано как некоторым целым числом, так нечетким числом.

Коллокации, в которых расстояние между термами задано нечетким числом, получили название нечетких коллокаций [3]. Под расстоянием между термами понимается число других термов, расположенных в тексте между заданными, составляющими коллокацию.

Пусть D – множество текстовых документов, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}$, $|D|=N$, где $|\cdot|$ – мощность множества. А T – множество термов, встречающихся в документах D . То есть будем считать, что если некоторый терм t встречается в документе $d_i, i = \overline{1, N}$, то $t \in T$. Пусть $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, $|T| = n$. Также сам факт появления терма t в d_i , будем обозначать $t \in d_i$, что, как может показаться на первый взгляд, не является тривиальным использованием символа \in , так как d_i нельзя назвать множеством термов. Действительно, в документе термы присутствуют в определенной последовательности, связанные синтаксически и морфологически.

Пусть в результате некоторого преобразования (1) документ d_i представлен в виде множества характеристических объектов (p). Так как в этом случае d_i потерял часть семантической информации, будем обозначать рассматриваемое множество \hat{d}_i , которое представляет собой некоторую оценку d_i . Тогда, для удобства работы с характеристическими объектами, введем следующее обозначение:

$$\hat{d}_i = \{p_1^i, p_2^i, \dots, p_{M_i}^i\}, \quad (1)$$

где $|\hat{d}_i| = M_i$. Элементы множества \hat{d}_i (характеристические объекты) представляют собой встреченные в документе артефакты (конструкции, структуры), в большей или меньшей степени характеризующие семантику d_i .

Причем, если соответствующие артефакты входят в состав документа неоднократно, то и в (2) они появляются соответствующее число раз. Представление документа в виде (2) задает универсальное множество характеристических объектов $U_p = \bigcup_{i=1}^N \hat{d}_i$. Действительно, если первоначально определить универсум U_p , то множество $\hat{d}_i, i = \overline{1, N}$ определяется как

$$\hat{d}_i = \{p \in U_p \mid p \in d_i\}, \quad (2)$$

причем количество вхождений объекта p в \hat{d}_i равно числу его появлений в документе d_i .

Рассмотрим множество $U_F = \{\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_K\}, |U_F = K|$. U_F представляет собой универсальное множество характеристик (пространство факторов), по которым оценивается семантический смысл текстового документа. Каждый элемент U_F – нечеткое множество $\tilde{F}_i, i = \overline{1, K}$, задаваемое функцией принадлежности $\mu_i : U_p \rightarrow [0, 1]$, то есть $\tilde{F}_i \subset U_p, \forall i = \overline{1, K}$.

В [1] была предложена и обоснована обобщенная векторно-пространственная модель текстовой коллекции в виде матрицы, каждый элемент которой имеет вид:

$$f_j^i = T \left(\xi \left(\frac{\sum_{k=1}^{M_j} \mu_i(p_k^j)}{M_j} \right), \zeta \left(\frac{N}{1 + \sum_{i=1}^N S(\mu_j(p_1^i), \mu_j(p_2^i), \dots, \mu_j(p_{M_i}^i))} \right) \right), \quad (3)$$

где ξ и ζ – произвольные функции, такие что $\xi: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, $\xi(0)=0$, $\xi(1)=1$, $\zeta: [1, |D|] \rightarrow [0, 1]$, $\zeta(1)=0$, $\zeta(|D|)=1$ и $\zeta \uparrow$ на $[1, |D|]$.

Заметим, что при конкретных значениях функций (3) следующего вида: $\xi(x)=x, \forall x \in R$, $\zeta(x)=\log(x), \forall x \in R$, $T(x, y)=xy$, $\forall x, y \in R$, а $S(x, y)=x+y-xy$, выражение (3) целесообразно переписать как

$$f_j^i = \frac{\sum_{k=1}^{M_j} \mu_i(p_k^j)}{M_j} \log \left(\frac{N}{1 + \sum_{i=1}^N S(\mu_j(p_1^i), \mu_j(p_2^i), \dots, \mu_j(p_{M_i}^i))} \right), \quad (4)$$

Для (4) было показано, что при $U_p = T$ представление (1) в силу (2) совпадает непосредственно с текстом, а в качестве артефактов выступают только термы. Причем полученный частный случай (4) является известной векторно-пространственной моделью текстовой коллекции.

То есть обобщенная модель (4) позволяет проводить латентно-семантический анализ на основе не только термов, но и любых других артефактов, в том числе нечетких коллокаций и антологий.

В рамках дальнейших исследований предполагается провести научно-исследовательские работы по созданию моделей, методов и алгоритмов построения и оценки семантической значимости нечетких коллокаций, фазсификации антологий, а также опытно-конструкторские работы по разработке программного обеспечения в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Разработанное программное обеспечение будет предоставлять сервис построения саммари (короткого пересказа) аудио информации,

представленной на АВФ. Для решения большинства задач, представленных на рис. 1, планируется найти готовые решения, в том числе основанные на технологиях машинного обучения. Вместе с тем, для формализации трех последних блоков планируется разработать программные модули, работающие на основе модели (4), а также использующие результаты запланированных исследований нечетких коллокаций.

Список литературы

1. Поляков, Д. В. Обобщение векторно-пространственной модели для оценки семантической значимости характеристик текстовых документов / Д. В. Поляков, Н. М. Митрофанов, Е. Н. Лепешкин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 2 – С. 51 – 61.
2. Ягунова, Е. В. Природа коллокаций в русском языке. Опыт автоматического извлечения и классификации на материале новостных текстов / Е. В. Ягунова, Л. М. Пивоварова // Сб. НТИ, Сер. 2, № 6. М., 2010. – URL : [http://webground.su/services.php? param=priroda_collac &part=priroda_collac.htm](http://webground.su/services.php?param=priroda_collac&part=priroda_collac.htm).
3. Поляков, Д. В. Метод формализации нечетких коллокаций термов в текстах на основе лингвистических переменных / Д. В. Поляков, Н. М. Митрофанов, А.С. Матвеева. // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. – 2015. – № 4(32) – С. 167 – 183.

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

*К. И. Патунин**

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ЖЕСТОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Проект посвящен разработке жестового управления для мультимедийных систем, включающего аппаратное обеспечение и программные инструменты на основе компьютерного зрения и нейронных сетей. Проект предполагает использование системы камер для распознавания тела, руки, жестов, их последовательностей и формирования управляющих команд на основе этих данных для воздействия на стороннее программное обеспечение.

Технологии компьютерного зрения и методы искусственного интеллекта позволяют успешно решать новые задачи, расширять функциональность существующих систем, повышать их удобство для конечного потребителя за счет интеллектуального анализа информации.

Одним из актуальных направлений применения данных технологий являются системы жестового управления [1]. Область их использования достаточно широка и включает следующие сферы человеческой деятельности [2]:

- интерактивное взаимодействие с презентациями;
- управление мультимедийными системами;
- взаимодействие с программным обеспечением мобильных и стационарных компьютеров;
- работа с объектами в виртуальной реальности;
- помощь лицам с ограниченными возможностями;
- распознавание и анализ действий пользователя в различных сценариях.

Существующие технические и программные решения обладают низкой производительностью – частота кадров и точность распознавания жестов в них является недостаточной, что ограничивает область применения данных решений. Дополнительно следует выделить то, что для разных программных продуктов используются различные системы управления, что нагружает человека лишней информацией. Кроме того, для людей с заболеваниями двигательной системы, мелкой моторики взаимодействие с компьютером или мобильным устрой-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Д. Обухова.

ством затруднено. Применение альтернативной системы управления на основе жестов позволило бы им работать с большим комфортом.

Рассмотрим текущие наработки в данной области. Одним из аналогов является жестовое управление в Android Q от Google, основным недостатком реализации необходимость запоминать жесты, их использование интуитивно непонятно. Стоит упомянуть устройство от BrilliantService – Mirama'sGlass OS, оно позволяет совершать и принимать звонки, писать сообщения, используя рукописный ввод, однако сам аппарат имеет крупный размер и достаточно большой вес. Также к аналогам можно отнести датчик LeapMotion, с помощью которого возможно управлять некоторыми приложениями, но недостатком является отсутствие стандартизации управления, то есть для каждого программного продукта используется собственный набор жестов, что добавляет громоздкость данной системе управления, а также добавляет работы разработчикам приложений, ведь им самостоятельно требуется создавать набор жестов для своих систем управления

Таким образом, универсального устройства, успешно решающего задачу качественного жестового управления мультимедийными системами, в настоящий момент не существует. Поэтому разработка такого программно-аппаратного комплекса является актуальной задачей, имеющей как научное, так и коммерческое значение.

Научная новизна проекта будет заключаться в следующем:

- разработка структурных, математических и информационных моделей процессов распознавания руки, пальцев и жестов при использовании компьютерного зрения, отличающихся анализом специфики работы алгоритмов машинного обучения и зрения для решения поставленных задач реализации жестового управления;

- разработка новых алгоритмов распознавания жестов и последовательностей движений человека с применением как существующих решений в области машинного обучения, так и с обучением новых моделей нейронных сетей, отличающихся достаточной производительностью и точностью для использования в режиме реального времени.

- разработка новых алгоритмов интеграции системы жестового управления в операционные системы для имитации управляющих воздействий, отличающаяся реализацией изменяемой базы данных команд с возможностью их расширения, а также мультиплатформенной универсальностью, что обеспечит интеграцию с различными операционными системами.

Практическая значимость проекта состоит в:

- разработке программного обеспечения, использующего компьютерное зрение для распознавания руки и пальцев человека и нейрон-

ные сети для определения жестов, а также отличающегося интеграцией в операционную систему для передачи управляющих команд в сторонние мультимедийные системы;

– реализации прототипа системы жестового управления, включающего набор камер для распознавания жестов и рук человека, их позиционирования в пространстве, протокол передачи этой информации на персональный компьютер, что позволит осуществить захват действий пользователя как в рамках рабочего пространства, так и перед интерактивной доской, экраном или в помещении, что в дальнейшем позволит осуществить многопользовательское взаимодействие с мультимедийной системой.

Разработанный программно-аппаратный комплекс будет иметь следующую структуру (рис. 1).

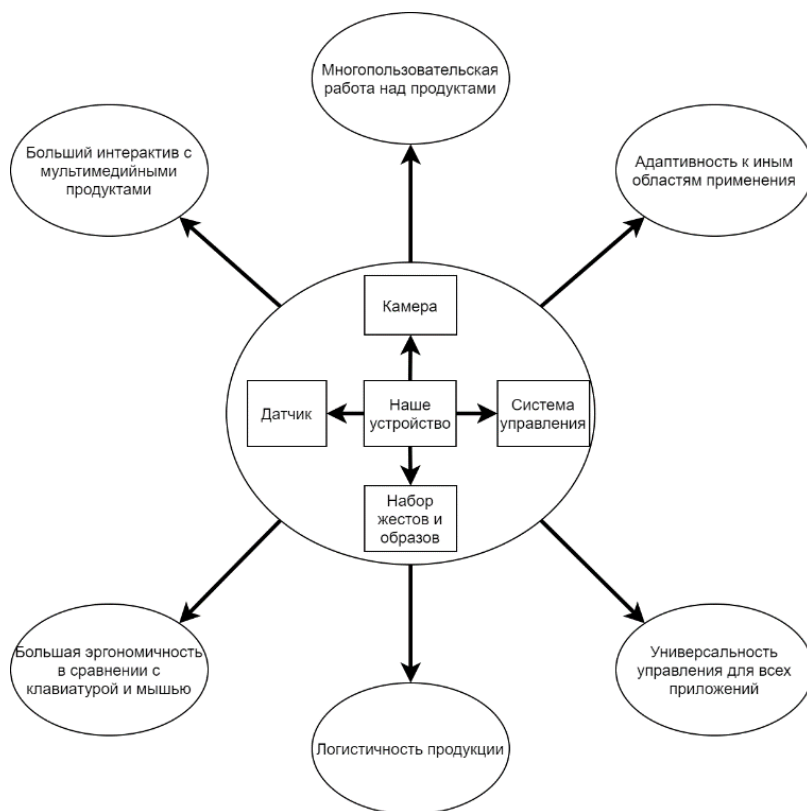


Рис. 1. Структура системы жестового управления

Реализация данных модулей позволит получить комплексное решение, обладающее следующими конкурентными преимуществами:

- универсальный подход к управлению мультимедийным программным обеспечением;
- большая интерактивность и функциональные возможности по сравнению с классическим подходом на основе клавиатуры и мыши, что открывает новые перспективы для творчества и разработки мультимедийного контента;
- возможность многопользовательской работы;
- организация жестового управления с минимизацией эффекта усталости для пользователя за счет оптимального размещения аппаратного модуля и камер;
- возможность адаптации проекта к новым областям применения (виртуальная реальность, системы помощи людям с ОВЗ).

Таким образом, разработанный проект станет промежуточным звеном между существующими программным обеспечением мультимедийных систем и человеком, который получит возможность управлять ими посредством жестов рук, а не клавиатуры или мыши. Кроме того, данный подход может быть интегрирован в системы виртуальной реальности, тем самым расширив возможности по работе в данного рода системах.

Список литературы

1. Огуля, Д. Технология распознавания жестов с помощью инерционно измерительных сканеров и статической камеры / Д. Огуля, Р. Базилевич // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2019. – № 11-1. – С. 179 – 182.
2. Чуйков, А. В. Система распознавания жестов на основе нейросетевых технологий / А. В. Чуйков, А. М. Вульфин // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 3(77). – С. 113 – 122.

*Кафедра «Системы автоматизированной поддержки
принятия решений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Лаборатория медицинских VR тренажерных систем
для обучения, диагностики и реабилитации*

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.98.01

Н. В. Бондаренко, И. В. Татаринцев**

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Одной из проблем современного машиностроения является определение припуска. Припуск – это слой материала, который необходимо снять с заготовки, для того, чтобы обеспечить необходимую геометрическую точность детали, а также необходимую чистоту поверхности. Как правило, на предприятиях для обработки деталей применяют три вида обработки: черновую, получистовую и чистовую. После чистовой обработки может быть применено шлифование, в редких случаях – тонкое точение. Для каждой обработки и для каждой поверхности нужно рассчитывать припуск.

В качестве первого этапа определения припуска выступает определение необходимого количества операций. Для этого определяют коэффициент уточнения ε_i :

$$\varepsilon_i = T_{i-1}/T_i, \quad (1)$$

где T_{i-1} – допуск на размер, полученный на предыдущей технологической операции; T_i – допуск на размер, полученный на выполняемой технологической операции.

Так как для получения детали из заготовки она должна пройти через несколько операций, определяют общий коэффициент уточнения ε_0 :

$$\varepsilon_0 = \prod_{i=1}^{i=k} \varepsilon_i, \quad (2)$$

где k – количество операций.

Далее определяют требуемое уточнение, которое необходимо обеспечить при обработке:

$$\varepsilon_{\text{ТО}} = T_3/T_d, \quad (3)$$

где T_3 – допуск на размер заготовки; T_d – допуск на размер детали.

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

Наконец, сравнивают ε_0 и $\varepsilon_{то}$. Если количество операций было подобрано правильно, то:

$$\varepsilon_0 \leq \varepsilon_{то} . \quad (4)$$

Выполнение этого неравенства гарантирует достижение требуемой точности (3).

Определение необходимого количества операций способом, указанным выше, описано в книге «Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении». После этого переходят к определению припуска.

Правильное установление толщины припуска на обработку является важной технико-экономической задачей. Маленький припуск может не обеспечить заданных параметров шероховатости детали. Кроме того, на заготовке может сохраниться дефектный слой с предыдущей операции, что может привести к браку. Большие припуски могут привести к экономическим потерям, так как придется снимать много материала для достижения заданных параметров.

Для решения этой проблемы применяют два метода: аналитический и справочный. Аналитический метод позволяет точно рассчитать максимальный, минимальный и номинальный припуск на операцию. Но в то же время, аналитический метод требует времени для выполнения расчетов и их проверки. Поэтому наибольшее распространение получил справочный метод. Суть справочного метода в том, что величину припуска определяют по справочной литературе, которая составляется на основе данных, полученных на предприятиях. Этот метод более быстрый, но менее точный.

Однако в современном машиностроении пользоваться справочниками не всегда удобно. Поэтому в качестве еще одного варианта для определения припуска выступают специальные программы, которые по вводимым данным способны рассчитать припуск. Тем не менее, программы имеют ряд недостатков.

Во-первых, подобные программы нуждаются в поддержке и обновлениях, так как данные для расчетов программы получают не только от пользователя, но и от баз данных, встроенных в программу. Если базы данных не обновлять своевременно, то программа будет выдавать не точные результаты расчетов.

Во-вторых, недостаточная кросс-платформенность программы. Обычно для того, чтобы программа работала, ее необходимо установить на компьютер или смартфон со всеми необходимыми библиотеками или базами данных, но из-за большого их количества вес программы может оказаться большим, что приводит к тому, что програм-

ма не устанавливается на слабых устройствах. Эту проблему можно решить при помощи облачных вычислений, когда все базы данных хранятся на сервере, и там же происходят вычисления, при этом устанавливать программу не нужно, а для ее активации достаточно будет зайти на сайт.

К преимуществам программы можно отнести ее высокую скорость работы, при грамотной реализации – кросс-платформенность, применение современных технологий для реализации, а также – перспектива развития программы, так как в дальнейшем к этой программе можно подключать дополнительные модули, расширяющие ее возможности.

Вопросы обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки производства, рассмотренные при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров изложены в книгах [4, 5].

Список литературы

1. URL : <https://stankiexpert.ru/tehnologii/chto-takoe-pripusk.html>
2. URL : <http://osntm.ru/pripuski.html>
3. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я. М. Радкевич, В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, М. С. Островский. – Изд-во «Высшая школа», 2007.
4. 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.
5. Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / К. А. Altunin, М. V. Sokolov. Advanced Materials and Technologies. – 2017. – № 2. – С. 67 – 77.

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

*Ю. С. Иванчей, А. И. Скоморохова**

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Термическая обработка металлов является сложным и ответственным технологическим процессом. Она зависит не только от правильности технологии и качества тех материалов, из которых изготовлены детали, но и от мастерства и внимательности термиста.

Качество всех материалов и готовой продукции термических цехов подвергают проверке. Качество исходных металлов и материалов определяют в лабораториях завода, применяя современные химические и физические методы.

Готовую продукцию термических цехов проверяют работники технического контроля. Руководствуясь техническими условиями, имеющимися в технологических картах, инструкциях, чертежах, контролеры оценивают качество термической обработки деталей и на основании протоколов экспресс-лабораторий и данных контроля устанавливают причины брака.

Твердость – свойство материалов, характеризующее способность проникновения одного, более твердого тела, в другое. Также эта характеристика определяет устойчивость к пластической деформации или разрушению поверхностных слоев при оказании сильного давления.

Все методы определения твердости материалов можно разделить на несколько основных групп:

1. Статические. Подобные методы характеризуются тем, что нагрузка постепенно возрастает. Время выдержки может быть разным – все зависит от особенностей применяемого метода.

2. Динамические характеризуются тем, что нагрузка на образец подается с определенной кинетической энергией. При этом показатель твердости является менее точным, так как при динамической нагрузке возникает определенная отдача из-за упругости материала. Результаты подобных испытаний зачастую называют твердостью материалов при ударе.

3. Кинетические основаны на непрерывной регистрации показателей во время проведения испытаний, что позволяет получить не

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

только конечный, но и промежуточный результат. Для этого применяется специальное оборудование.

Кроме этого, классификация методов определения твердости проводится по принципу приложенной нагрузки. Выделяют следующие способы испытания образца:

1. Вдавливание является на сегодняшний день наиболее распространенным способом определения рассматриваемого показателя.

2. При отскоке проводится замер того, как высоко боек отлетит от поверхности испытуемого образца. В данном случае просчет твердости проводится по показателю сопротивления упругой деформации. Методы подобного типа довольно часто применяются для контроля качества прокатных валиков и изделий с большими размерами.

3. Методы, основанные на царапании и резании, сегодня применяются крайне редко. Были они разработаны два столетия назад.

Измерение твердости по Бринеллю

Чаще всего проводится измерение твердости по Бринеллю. Этот метод регламентирован ГОСТ 9012. К особенностям испытания металлов и сплавов подобным методом можно отнести следующие моменты:

1. В качестве тела, которое будет оказывать воздействие на испытуемый образец, используется стальной шарик.

2. Для тестирования применяется шарик с определенным диаметром, который изготавливается из закаленной стали. К нему прилагается постоянно нарастающая нагрузка.

3. Главным условием применения этого метода тестирования металлов и сплавов является то, что шарик должен изготавливаться из более твердого материала, чем испытуемый образец.

4. После завершения теста проводится измерение полученного отпечатка на поверхности.

5. Данный способ позволяет получить данные, которые указываются в НВ. Именно это обозначение сегодня встречается чаще других в различной справочной документации.

6. Для удобства применения данного способа были созданы специальные таблицы, которые основаны на зависимости диаметрального размера шарика, твердости и полученного отпечатка.

Измерение твердости по Виккерсу

Также выделяют метод измерения твердости по Виккерсу, который регламентирован ГОСТ 2999. Получил он распространение при определении твердости деталей и заготовок, которые имеют небольшую толщину. Кроме этого, он может применяться для измерения твердости деталей, имеющих поверхностный твердый слой.

К особенностям этого способа тестирования образца можно отнести нижеприведенные моменты:

1. Применяется так называемый алмазный наконечник, который имеет форму пирамиды с четырьмя гранями и равными сторонами.

2. Выбирается определенное время выдержки.

3. После того, как снимается нагрузка, проводится измерение размеров диагоналей получившегося отпечатка и вычисляется среднее арифметическое значение.

4. Величина прилагаемой нагрузки регламентирована, может выбираться в зависимости от типа тестируемого материала.

Полученные результаты в ходе проведения исследований обозначаются HV.

Измерение твердости по Роквеллу

Данный метод регламентируется ГОСТ 9013. Для его проведения используется специальный прибор для измерения твердости, который позволяет создать две последовательные нагрузки, прилагаемые к поверхности образца. К особенностям проведения подобного теста можно отнести:

1. Сначала оказывается предварительная нагрузка, после чего добавляется вторая.

2. После выдержки под общей нагрузкой в течение 3 – 5 секунд вторая снимается, проводится замер глубины отпечатка, затем снимается предварительная нагрузка.

3. Измерение полученных данных проводится в условных единицах, которые равны осевому смещению индикатора на 0,002.

4. Определяется число твердости по Роквеллу по специальной шкале прибора.

5. Форма применяемого индикатора может существенно отличаться. Именно поэтому было введено несколько типов измерительных шкал, которые соответствуют определенной форме индикатора.

6. Для обозначения полученной величины могут применяться обозначения HRA, HRC, HRB. Они соответствуют форме применяемого индикатора и шкалы обозначения.

Измерение твердости по Шору

Метод определения твердости по Шору применяется для тестирования прокатных валков на момент их изготовления. Кроме этого, проверка рассматриваемого показателя может проводиться при эксплуатации валков на прокатных станках, так как из-за оказываемого воздействия структура металла может изменяться, ухудшая эксплуатационные качества. Регламентирован метод Шора ГОСТ 23273.

Рассматривая измерение твердости по Шору, следует отметить следующие моменты:

1. В отличие от предыдущих способов, рассматриваемый основан на свободном падении алмазного индикатора на тестируемую поверхность с определенной высоты. Для тестирования применяется специальное оборудование, которое позволяет фиксировать точно высоту отскока.

2. Масса применяемого бойка с алмазным наконечником составляет 36 грамм. Этот показатель важен, так как учитывается при проводимых расчетах.

3. Твердость определяется по высоте отскока, измерение проводится в условных единицах. Падение образца на поверхность происходит с образованием небольшого углубления, а упругость приводит к обратному отскоку. Этот метод хорош тем, что позволяет проводить тестирование образцов, которые прошли предварительную термическую обработку. При постепенном вдавливании возникающая нагрузка может стать причиной деформирования используемого наконечника или шарика. В этом случае вероятность их деформации весьма мала.

4. За 100 единиц твердости в этом случае принято считать высоту отскока 13,6 мм с возможностью небольшого отклонения в большую или меньшую сторону. Этот показатель можно получить при тестировании углеродистой стали, прошедшей процесс закалки. В качестве обозначения применяется аббревиатура HSD.

Список литературы

1. Теплухин, Г. Н. *Металловедение и термическая обработка* : учеб. пособие / Г. Н. Теплухин, А. В. Гропянов. – СПбГТУ РП. – СПб., 1989. – 172 с.

2. Гаврилов, Г. Н. *Материаловедение. Теория и технология термической обработки* : учеб. пособие / Г. Н. Гаврилов, Е. Н. Каблов, В. Т. Ерофеев. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2019. – 281с.

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

*А. М. Истомин**

РАЗРАБОТКА ПЛАСТИЧНОЙ КАЛЬЦИЕВОЙ СМАЗКИ, НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Развитие сельскохозяйственной отрасли экономики невозможно без использования сельскохозяйственной техники, так как преимущественно от данного фактора зависит производительность труда. Данная техника требует обслуживания, например, смазывания узлов трения.

На данный момент для смазывания подшипников подвесной сельхозтехники используются дорогостоящие пластичные смазки на основе литиевых мыл. Дешевые кальциевые смазки неприменимы в данных условиях, так как уже при температуре 65 градусов начинается сползание. Параметр температуры каплепадения у смазок выше значения температуры сползания.

Литиевые смазки имеют высокую стоимость, так как в России имеются небольшие запасы данного металла, поэтому сырье для их производства дорогое.

Цель работы: получение консистентной кальциевой смазки с характеристиками, приближенными к литолам путем модификации коллоидно окисленным нанографитом КОГ и замена дорогостоящих смазок на основе литиевых мыл в данной отрасли, а также решение экологической проблемы утилизации отработанных моторных масел.

Неустойчивость структуры и сползание солидола уже при температуре 65 градусов связано с явлением пристенного синергизиса.

Консистентная смазка – дисперсная система, где масло – дисперсионная среда, а мыло и вода – дисперсная фаза. При эксплуатации смазки нагрузка складывается с силами самоуплотнения молекул структурного каркаса, в результате около смазанных поверхностей начинает происходить разрушение ячеек каркаса с выделением масла. Смазочный материал начинает растрескиваться, соскальзывать с поверхности. Данную проблему можно решить добавлением КОГ.

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

Интенсивность процесса сползания зависит от количества толщины слоя масла в пристеночном слое, вида материала поверхности и ее обработки.

Добавка КОГ изменяет структуру каркаса смазки и вводится в количестве, не превышающем 0,75% от массы смазки, из чего следует вывод, что КОГ является структурной добавкой, а не функциональной.

Введение в смазку КОГ предположительно увеличит прочность структурного каркаса, за счет изменения структуры и улучшения удержания воды в смазке.

Исходная структура каркаса кальциевой смазки, предложенная американским специалистом по консистентным смазкам Бонером, представлена на рис. 1.

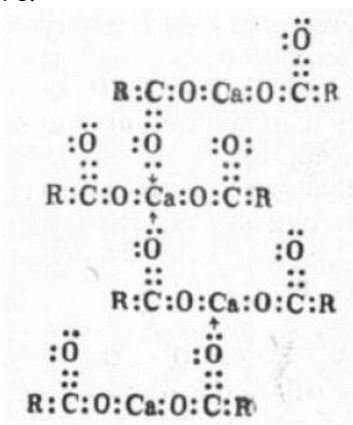


Рис. 1. Структура дисперсной фазы смазки

КОГ добавляли в процессе получения загустителя в количестве 10,75,150,750 ppm. Загуститель получали в результате взаимодействия гидроксида кальция с подсолнечным маслом в течение 1 – 3 часов при температуре 95 °С.

Полученные смазочные материалы исследовались на остаточное содержание воды, долю содержания загустителя, температуру каплепадения, пенетрацию и предельную величину износа с использованием машины трения.

Сравнение параметров производилось с образцом смазки, полученным в промышленности.

Были установлены зависимости: с увеличением содержания КОГ в смазке монотонно увеличивается содержание воды с 0,6 до 2,3% масс. При этом концентрация загустителя остается без изменений

18,5% масс. Пенетрация образца уменьшается при увеличении содержания КОГ с 44 мм до 31 мм. Температура каплепадения возрастает с 79 до 88 °С при концентрации 150 ppm, а далее монотонно падает до 81 °С, также при данной концентрации КОГ наблюдается минимальное пятно износа на четырехшариковой машине трения – 0,215 мм, что на 25% ниже, чем контрольного образца.

Полученная зависимость пятна износа от содержания КОГ представлена на рис. 2.

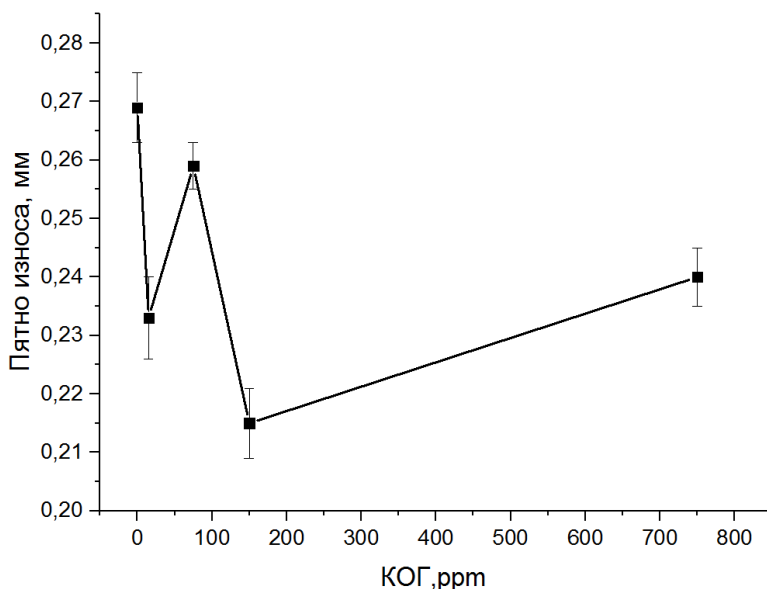


Рис. 2. Зависимость пятна износа от содержания нанографита

Исходя из полученной зависимости, в результате трибологических испытаний видно, что оптимальной концентрацией коллоидно окисленного нанографита для добавки в смазочный является 150 ppm.

Дальнейшее увеличение содержания КОГ нецелесообразно, так как это создает менее прочную структуру каркаса из загустителя, вследствие избыточной гидролизаии кристаллитов мыла.

Коллоидно окисленный нанографит синтезируется экологически безопасным и экономически выгодным способом электрохимической эксфолиации в щелочном растворе.

Полученная зависимость пенетрации, содержания воды и температуры каплепадения от содержания нанографита (рис. 3).

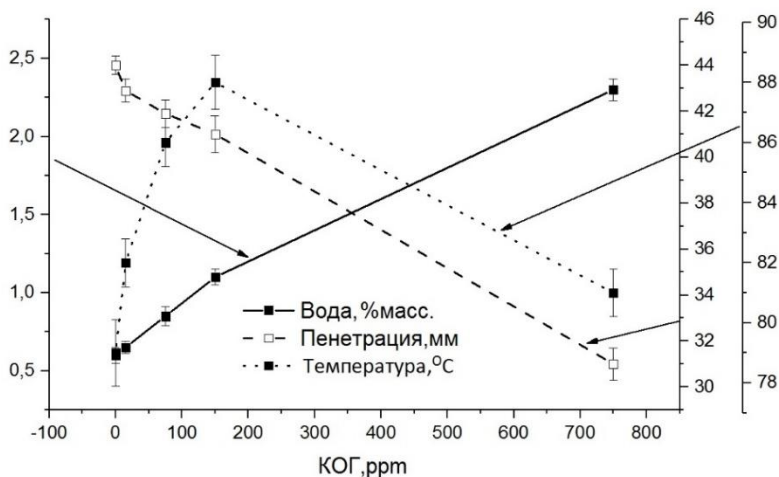


Рис. 3. Зависимость пенетрации, температуры каплепадения, содержания воды от содержания КОГ

Проведенные исследования показали, что добавление КОГ концентрацией 150 ppm в солидол улучшает типологические характеристики. Увеличение температуры каплепадения позволяет сделать предположение о возможном расширении температурного диапазона применения смазки, что требует проведения соответствующего исследования.

Производство данной модифицированной кальциевой смазки может улучшить экологическую обстановку, а также сделать более экономически выгодным производство консистентной смазки – солидола.

Список литературы

1. Бонер, К. Дж. Производство и применение консистентных смазок [Текст] / К. Дж. Бонер ; пер. с англ. А. П. Чочиа ; под ред. В. В. Сиניцына. – М. : ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1958 – 704 с.
2. Фукс, И. Г. Добавки к пластичным смазкам [Текст] / И. Г. Фукс. – М. : Химия, 1982. – 248 с.
3. Нефтепродукты [Текст] : справочник – М. : Химия, 1966 – С. 664 – 665.
4. Вавилов, М. П. Смазка металлургического оборудования [Текст] / М. П. Вавилов. – М. : МАШГИЗ, 1954. – С. 28–29.

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

*Т. С. Кузнецова, А. Е. Бураков, Т. В. Пасько,
И. В. Буракова, Я. И. Сухарева**

**КОМПОЗИТНЫЕ ГРАФЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД
ОТ ПОЛЛЮТАНТОВ ОРГАНИЧЕСКОЙ
И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

Развитие промышленного производства является одним из факторов негативного влияния на экологическое состояние регионов. На текущий момент человечество знает о множестве методов по удалению вредных поллютантов органической и неорганической химической природы из загрязненных водных сред

Основными загрязнителями, попадающими в водные экосистемы, являются синтетические красители и тяжелые металлы. Среди различных отраслей промышленности, которые при производстве товаров народного потребления сбрасывают токсичные стоки, в которых содержатся различные типы красителей, действующие как канцерогены и мутагены на живые организмы, наибольший вред оказывают красильная и текстильная промышленность. Загрязнение водных сред тяжелыми металлами связано с горно-металлургической, химической, машиностроительной промышленностью. Опасность нахождения тяжелых металлов в гидросистеме определяется тем, что скопление тяжелых металлов в организме человека способно также оказывать тератогенное, мутагенное и канцерогенное воздействие.

Адсорбционные способы являются наиболее эффективными и экономически рентабельными методами извлечения рассмотренных выше загрязнителей. Недостатками применяемых сорбционных материалов, используемых для извлечения поллютантов, зачастую являются недостаточная эффективность либо селективность, отсутствие возможности регенерации. В настоящее время в качестве эффективных сорбентов рассматриваются различные формы, а также композитные материалы на основе графеновых структур.

Оксид графена (ОГ) и его восстановленная форма (ВОГ), а также углеродные нанотрубки (УНТ) благодаря таким свойствам, как развитая удельная поверхность, наличие функциональных групп, способность к модификации, могут рассматриваться в качестве сорбентов [1, 2].

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

Адсорбционные свойства графеновых наноматериалов по отношению к тяжелым металлам могут быть объяснены рядом факторов:

- наличием функциональных кислородосодержащих групп (молекулы кислорода имеют сродство к ионам металлов большее, чем углеродный каркас);
- наличием р-электронов на поверхности листов графена (взаимодействие согласно электронной теории химических соединений Льюиса);
- модифицированием N-содержащими группами (например, $-\text{CN}$, $-\text{NH}_2$ и $-\text{NH}-$) (обеспечение поверхности активными центрами для комплексообразования с катионами тяжелых металлов);

- наличием высокой удельной поверхности и пористости.

По отношению к красителям адсорбционные свойства графеновых материалов могут быть так же объяснены рядом факторов:

- наличием функциональных групп: $-\text{OH}$, $-\text{C}=\text{O}$ и $-\text{COOH}$ (образование водородных связей и $\pi-\pi$ взаимодействия между ароматическими кольцами красителя и бензолными кольцами графеновых структур);
- наличием электростатического взаимодействия между поверхностью углеродных структур и молекулами красителя;
- наличием высокой пористости, большой площади поверхности;
- модифицированием поверхности за счет формирования функциональных групп в результате обработки HCl , HNO_3 , NaOH или добавления в состав других компонентов позволяют усиливать взаимодействие красителя с активными центрами сорбентов.

Введение модифицирующего агента при синтезе композитного материала позволяет улучшить свойства графеновых структур, придать ему новые свойства.

Авторами работы были синтезированы композитные графеновые материалы, где в роли структурообразователя выступали УНТ, а модифицирующим агентом являлся полианилин.

Для синтеза исходного гидрогеля были использованы водные пасты полианилина и окисленных УНТ, оксид графена (в виде водной дисперсии с содержанием сухого вещества 1%), аскорбиновая кислота. Восстановление оксида графена проводили в присутствии полианилина и УНТ. Подробная методика получения представлена в работе [3].

Для получения нанокомпозиционных материалов в сухом виде после получения гидрогеля необходимо удалить растворитель из его пор. Реализовать данный процесс можно несколькими способами: провести сушку в замороженном виде (лиофильную сушку) (образец АЛ),

или же удалить жидкую фазу в процессе сверхкритической сушки (образец АС).

Для последующей карбонизации этих материалов соответствующие предшественники подвергались нагреву до 800°C в течение часа в инертной среде (образцы АЛК и АСК).

Ниже представлены сравнительные диаграммы сорбционных емкостей полученных материалов по метиленовому синему красителю (рис. 1) и по свинцу (рис. 2) в сравнении с литературными данными [3, 4].

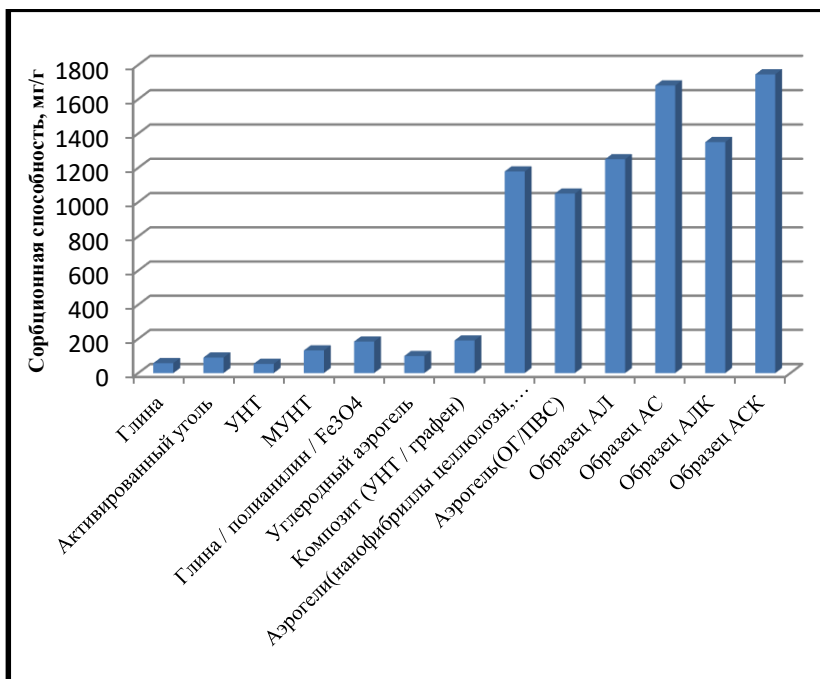


Рис. 1. Сорбционные емкости материалов на примере удаления метиленового синего красителя (начальная концентрация 1500 мг/л, масса сорбента 0,01 г, объем пробы 30 мл)

Таким образом, полученные материалы обладают высокой сорбционной способностью по отношению к поллютантам органической и неорганической природы. Их постобработка путем карбонизации также повышает эффективность извлечения целевых загрязнителей.

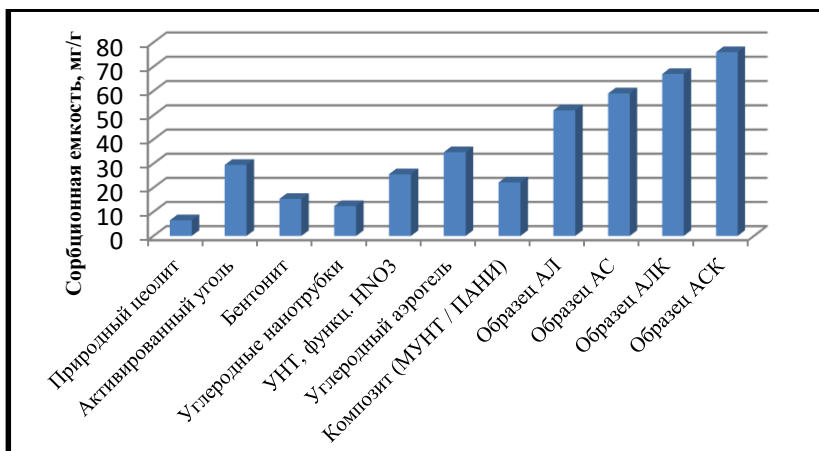


Рис. 2. Сорбционные емкости материалов на примере извлечения ионов свинца (начальная концентрация 100 мг/л, масса сорбента 0,01 г, объем пробы 30 мл)

Список литературы

1. Ansari, R., Mosayebzadeh, Z. Application of Polyaniline as an Efficient and Novel Adsorbent for Azodyes Removal from Textile Waste Waters. Chem. Pap., 2011, 65, 1-8.
2. Tara, N., Siddiqui, S., Rathi, G., Asiri, M. Nano-engineered Adsorbent for Removal of Dyes from Water: A review. Current Analytical Chemistry. – 2019, 15.
3. Mkrтчян E. S., Neskoromnaya E. A., Burakova I. V., Ananyeva O. A., Revyakina N. A., Babkin A. V., Kuznetsova T. S., Kurnosov D. A., Burakov A. E. Comparative Analysis of the Adsorption Kinetics of the Methylene Blue Dye on Graphene Aerogel and Activated Coconut Carbon // Advanced materials and technologies. 2020. No. 4(20). 21-28.
4. Технология получения нанокompозитов для сорбционной очистки водных сред / И. В. Буракова, Т. В. Пасько, А. Е. Бураков, А. В. Мележик, Э. С. Мкртчян, А. В. Бабкин, Е. А. Нескоромная, А. Г. Ткачев // Перспективные материалы. – 2021. – № 9. – С. 68 – 78.

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

*Т. А. Лутовинова, А. А. Чуприкова, М. А. Фунбаю, Т. В. Фижбах**

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Известные методы улучшения характеристик изделий из ПКМ заключаются в использовании материалов повышенного качества, применении новых составов связующего (матрицы), совершенствовании технологий формирования и отверждения композиций. Внедрение данных методов сопряжено с большими затратами, связанными с перестройкой отлаженных технологий. Изложенное делает актуальным изыскание альтернативных методов повышения качества изделий из ПКМ.

В последнее десятилетие углеродные нанотрубки (УНТ) получили широкое применение в качестве модификаторов полимерных материалов. Благодаря своим уникальным механическим, термическим, оптическим свойствам УНТ с нанометровыми размерами производятся в промышленных масштабах, что указывает на их перспективность.

Углеродные нанотрубки обладают самыми прочными в природе sp^2 -гибризованными электронными связями и рассматриваются в настоящее время в качестве идеальных наполнителей для композитов конструкционного назначения. Высокий модуль упругости сочетается в них с рекордным пределом прочности при растяжении, на порядок превосходящим прочность существующих углеродных материалов.

Известно, что модификация политетрафторэтилена наноразмерными частицами, в том числе углеродными нанотрубками, может приводить к изменению его надмолекулярной структуры и способствовать развитию структурирующих процессов в полимерной матрице, что проявляется в повышении физико-механических свойств композиционного материала.

Задача этой работы состояла в исследовании структурных характеристик наномодифицированного фторопласта.

В качестве объекта исследования использовались фторопласты марок Ф-4 и Ф-42 модифицированные углеродными нанотрубками (УНТ) «Таунит».

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. О. Завражина.

Строение нанокомпозита из-за наличия спектра низко- и высокомолекулярных фракций полимерного компонента, используемого в работе в качестве модифицирующего наполнителя комбинированного фторполимерного материала, взаимодействие данного микро- нанокомпозита с матрицей ПТФЭ и определяет в области малых добавок экстремальные концентрационные зависимости всего комплекса физико-химических свойств нанокомпозитов (рис. 1).

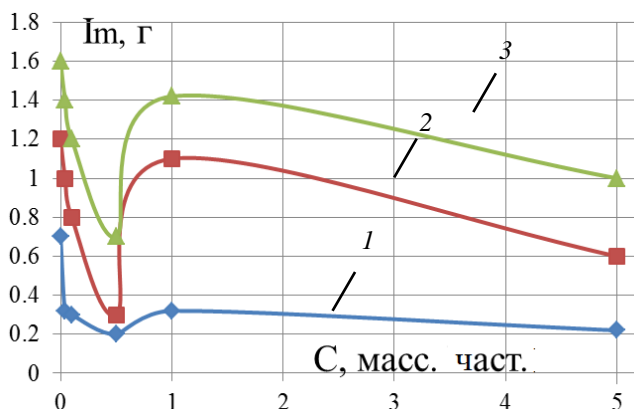


Рис. 1. Время абразивного износа композитов на основе Ф-4 в зависимости от объема внесенного УНМ:

20 мин (1), 40 мин (2), 60 мин (3); частота вращения контртела 12 об/мин; усилие прижима 0,5 кг

Для оценки физико-механических характеристик композитов использовали универсальную машину для испытания конструкционных материалов УТС 101-5, предназначенную для исследования свойств и поведения материалов при растяжении, сжатии и изгибе.

При оценке прочностных показателей в условиях срезающих напряжений после обработки по заданной методике показано повышение прочностных характеристик материалов на основе фторопласта до 25 МПа.

Сравнительные механические характеристики в условиях одноосного растяжения исходных фторопластов и композитов на их основе представлены на рис. 2 и 3. Можно отметить положительное влияние вносимого наноматериала в объеме 0,5 масс. част. При этом повышается предел текучести при растяжении и значение деформации (рис. 2). При анализе данных по пределу прочности можно отметить повыше-

ние прочностных характеристик на 25-30% для композитов Ф-4+0,5 масс.част. и Ф-4+1 масс.част. Однако, для всех композитов наблюдается снижение относительного удлинения при растяжении, что свидетельствует о более хрупкой структуре материала.

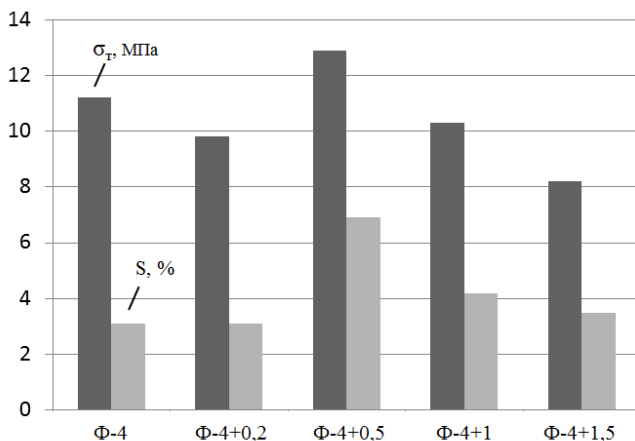


Рис. 2. Физико-механические свойства Ф-4 и композитов на его основе в зависимости от объема внесенного УНМ:

σ_t – предел текучести при растяжении, S – деформация при пределе текучести

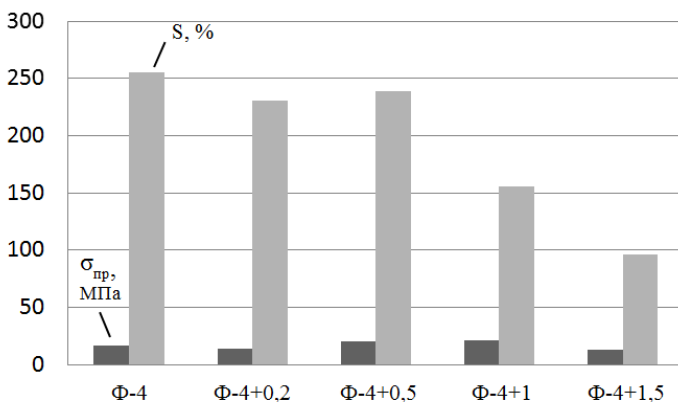


Рис. 3. Физико-механические свойства Ф-4 и композитов на его основе в зависимости от объема внесенного УНМ:

$\sigma_{пр}$ – предел прочности при растяжении,
S – деформация при пределе прочности

Список литературы

1. Microwave modification of polymer-carbon materials / D. Zavrzhin, S. Zavrzhina // Materials Science Forum. – 2018. – Т. 945 MSF. С. 443 – 447.
2. Патент на изобретение RU 2361733 С2, 20.07.2009. Способ формования термопластов / Г. С. Баронин, В. М. Дмитриев и др. Заявка № 2007128686/12 от 25.07.2007.
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.

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

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

*Э. С. Мкртчян, Д. А. Курносов, И. В. Буракова,
А. Е. Бураков, О. А. Ананьева**

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА,
МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИТОЗАНОМ,
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СИСТЕМ
ОТ ТОКСИЧНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ**

В гидросферу Земли поступает большой спектр загрязняющих веществ как органической, так и неорганической природы, который пагубно влияет на жизнедеятельность живых организмов, на окружающую природу и человека. Загрязнение водных объектов – одна из значимых проблем, стоящих на повестке дня у всего мира, с которой пытаются бороться научные сообщества различных стран.

Авторами статьи в качестве модельных загрязняющих веществ были использованы растворы органических загрязнений – метиленового синего (МС), солнечно желтого (СЖ) красителей, и растворы неорганических загрязнений – Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} .

МС – это катионный азокраситель, в основном используемый для окраски материалов. Однако из-за наличия ароматического кольца МС чрезвычайно токсичен, канцерогенен и процесс его разложения очень сложен [1].

СЖ (Желтый 6, Е 110) – пищевой краситель, используемый для улучшения однородности цвета, стабильности продуктов к кислороду, свету и рН (конфеты, напитки, молочные продукты, фармацевтические препараты). Тем не менее, чрезмерное потребление СЖ может привести к развитию заболеваний (опухоль почек, повреждению хромосом, гиперактивности, аллергии) [2].

Тяжелые металлы, такие как Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} являются природными элементами. Небольшие количества этих элементов распространены в нашей окружающей среде, и они на самом деле необходимы для нашего здоровья. Но, большие количества любого из них могут вызвать острую или хроническую токсичность. Накапливание тяжелых металлов в организме человека может привести к повреждению или снижению умственной и центральной нервной функции, а также к повреждению состава крови, легких, почек и печени [3, 4].

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры ТТПН ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. В. Бураковой.

В качестве адсорбционного материала был использован аэрогель на основе оксида графена (ОГ), поверхность которого модифицирована хитозаном (рис. 1).

Синтез адсорбционного материала состоит из нескольких стадий.

Первым этапом синтеза было получение водного раствора хитозана. Для этого в водный раствор уксусной кислоты (0,5 М CH_3COOH) добавляли порошок хитозана, а затем перемешивали.

Следующим этапом является смешение суспензии оксида графена (1 мг/мл) с раствором хитозана; предварительно значения pH суспензии ОГ были доведены до 10 путем добавления NaOH. Полученную смесь нагревали до 95 °С в течение 24 ч, в результате чего образовывался гидрогель ОГ-хитозан. Далее, полученный гидрогель подвергали лиофильной обработке для сохранения пористой структуры (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид полученного адсорбционного материала (ОГ-хитозан)

В процессе проведения кинетических исследований 0,01 г синтезируемого материала (ОГ-хитозан) погружали в пробирку с модельными растворами:

- ✓ МС-V=30 мл (начальная концентрация 1500 мг/л, pH = 7);
- ✓ СЖ-V=30 мл (начальная концентрация 1500 мг/л, буферный раствор при pH=2);
- ✓ Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} V = 30 мл (начальная концентрация 100 мг/л, буферный раствор при pH = 6).

Время контакта 5, 10, 20 и 40 мин. В результате проведенных исследований были получены кинетические зависимости адсорбционной

способности синтезируемого графенового нанокompозита ОГ-хитозан по извлечению органических и неорганических загрязнений, представленные на рис. 2, 3.

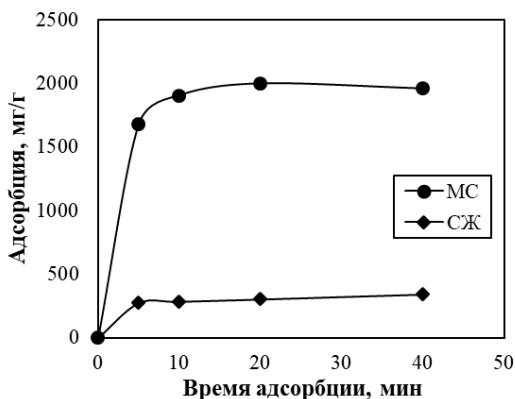


Рис. 2 Кинетика сорбции молекул МС и СЖ

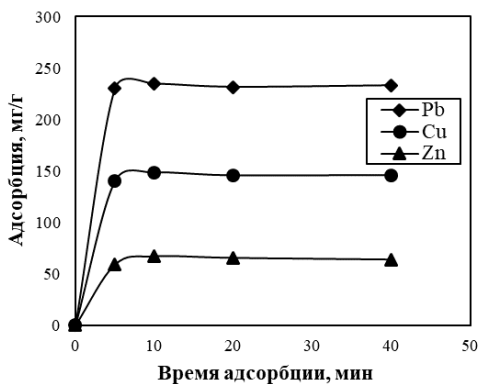


Рис. 3 Кинетика сорбции ионов Pb²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺

Анализируя полученные данные видно, что графеновый нанокompозит достаточно быстро поглощает загрязнения из воды. При этом достигаются высокие показатели адсорбционной способности как при удалении органических молекул МС и СЖ, так и при удалении ионов Pb²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺. Установлено, что адсорбционная емкость при извлечении молекул МС составляет ~2000 мг/г; для молекул СЖ ~340 мг/г; для ионов Pb²⁺~235 мг/г, Cu²⁺~149, Zn²⁺~67 мг/г.

Список литературы

1. Mbaz, G. M. Instant removal of methylene blue using water-soluble non-cadmium based quantum dots / G. M. Mbaz, S. Parani, O. S. Oluwafemi // *Materials Letters*. 303 (2021). 130495.
2. Banana stem based activated carbon as a low-cost adsorbent for methylene blue removal: isotherm, kinetics, and reusability / E. Misran, O. Bani, E. M. Situmeang, A. S. Purba // *Alexandria Engineering Journal*. – 2021.
3. Qiu, W. Removal of lead, copper, nickel, cobalt, and zinc from water by a cancrinite-type zeolite synthesized from fly ash / W. Qiu, Y. Zheng // *Chemical Engineering Journal*. 145 (2009). 483-488.
4. Adsorption of heavy metals from aqueous media on graphene-based nanomaterials / E. Galunin, I. Burakova, E. Neskorumnaya, A. Babkin, A. Melezhik, A. Burakov, A. Tkachev // *AIP Conference Proceedings*. 2041(2018). 020007.

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

*А. П. Пудовкин, Я. А. Роговцова**

ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ БИОЭТАНОЛА И БИОДИЗЕЛЯ

Увеличение концентрации населения в городах из-за урбанизации и связанный с ним рост автомобильного транспорта приводит не только к повышенному росту спроса на углеводородные виды топлива, но и к экологическим проблемам, связанным с вредными выбросами в атмосферу продуктов его сгорания (углекислого газа, оксидов азота и пр.) [1]. Поэтому, одной из тенденций развития современной топливной отрасли является ужесточение требований к топливу, которое должно быть с одной стороны эффективным, а с другой стороны иметь улучшенные экологические характеристики. Так одним из способов решения этой проблемы является производство и широкое использование биотоплива [2], в частности биоэтанола и биодизеля.

18 октября 2014 г. Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации приняла в третьем чтении поправки, позволяющие использовать на транспорте в России не только бензин, природный газ, электричество, но и альтернативные виды энергии, такие как биодизель, биоэтанол и источники кинетической энергии. Разработчики закона надеются, в частности, что принятие законопроекта будет способствовать переводу муниципального транспорта на альтернативные виды топлива, что позволит снизить стоимость проезда и улучшить экологическую обстановку в городах России.

Согласно прогнозу на 2020 – 2029 г. мировое производство биоэтанола вырастет со 122 до 143 миллиардов литров к 2028 году. Одновременно с этим мировое производство биодизеля по прогнозам достигнет 44 миллиардов литров [3]. В настоящее время лидерами по производству биотоплива являются США, Бразилия, Индонезия, Германия, Китай, Тайланд и Испания [4].

По прогнозам Международного Энергетического Агентства (МЭА) (International Energy Agency – IEA), к 2050 году производство биотоплива достигнет 760 миллионов тонн нефтяного эквивалента. Ожидается, что в ближайшие 5 лет количество производимого биотоплива вырастет на 15% и достигнет 165 миллиардов литров. Также прогнозируется, что к 2023 году на данный вид топлива будет приходиться около

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

90% возобновляемых источников энергии, используемых транспортными средствами. До пандемии COVID-19 ожидалось, что к 2024 году мировое производство данного вида топлива вырастет до 130 миллиардов литров. Однако за 2020 год количество биотоплива сократилось на 11,6%, по отношению к рекордным значениям 2019 года, но можно ожидать возобновления роста после окончания пандемии.

Биотопливо, в отличие от бензина, дизельного топлива или природного газа, производится из возобновляемого экологически чистого растительного сырья (зерновых культур, сахарной свеклы, сои, рапса и древесных опилок). Способность биотоплива служить первичным источником энергии зависит от его энергетической рентабельности, то есть отношения полученной полезной энергии к затраченной. На основе оценки энергетического баланса производства биоэтанола из различного сырья, энергетическая рентабельность составляет для кукурузы – 1,5; сахарной свеклы – 2; пшеницы – от 2 до 4; сахарного тростника – от 2 до 8; целлюлозы – от 2 до 36.

Здесь следует отметить, что определенные виды растительного сырья могут наносить вред здоровью человека. В частности, исследователи из Ланкастерского университета (Великобритания) оценили влияние на окружающую среду массовых посадок тополя, ивы, эвкалипта – быстрорастущих деревьев, которые считаются идеальным возобновляемым сырьем для выработки биоэтанола в Европе. Оказалось, что в процессе роста эти деревья выделяют вещество изопрен, которое наносит вполне ощутимый удар по здоровью человека.

На сегодняшний день лидирующее место среди биотоплива занимает биоэтанол – полученный из растительного сырья этиловый спирт, который является эффективной высокооктановой топливной добавкой для бензина. При смешивании бензина и биоэтанола увеличивается октановое число, при этом значительно уменьшаются выбросы вредных веществ в атмосферу, снижается температура сгорания топлива, что увеличивает рабочий ресурс двигателя. Добавление биоэтанола к бензину способствует снижению цены последнего, что также довольно актуально на сегодняшний день.

С точки зрения экономики производства биоэтанола значение имеет не чистая теоретическая производительность по спирту тех или иных культур, а скорректированная с учетом урожайности на единицу посевных площадей. С этой точки зрения абсолютными мировыми лидерами в качестве сырья для биоэтанола выступают кукуруза и сахарный тростник, которые обеспечивают как высокий выход спирта при ферментации, так и высокую урожайность.

Технология производства биоэтанола начинается со сбора сырьевых растительных культур, их предварительной подготовки (резка, дробление и т. п.) и превращения содержащихся полисахаридов или дисахаридов в простые углеводы (часто этот процесс не совсем верно называют предварительной ферментацией). Далее следует собственно процесс брожения, отделение твердых отходов от получившейся спиртосодержащей жидкости, ее очистка. На заключительном этапе биоэтанол разделяется дистилляцией, ректификацией и дегидратацией. В последние годы существенным технологическим прорывом в производстве биоэтанола стал отказ от сложных и дорогостоящих каскадных установок ректификации этанола в пользу мембранных технологий, что позволило существенно снизить капитальные вложения.

При производстве биодизеля отсутствует непосредственная стадия биохимического превращения сырья. В технологии производства биодизеля различные растительные масла или масла животного происхождения подвергаются традиционной химической обработке. Тем не менее, получающаяся в таком процессе дизельная фракция теоретически может быть подвергнута традиционному паровому пиролизу с получением классических нефтехимических продуктов: этилена, пропилена, ароматических соединений и т.п.

Возможно переработка использованного отработанного фритюрного масла, большое количество которого используется при приготовлении пищи в ресторанах фаст-фуд. Например, в США рестораны собирают такое масло в специальные контейнеры, откуда несколько раз в неделю его направляют на фабрику для переработки. Масло нагревают, чтобы выпарить лишнюю воду, после чего масло фильтруют для очистки от пищевых остатков. Этот процесс повторяют несколько раз, пропуская масло через различные фильтры, в конце используют очень тонкий многослойный фильтр, который задерживает частички диаметром до 1 микрона, что примерно в 8 раз тоньше человеческого волоса. Далее масло смешивают с метанолом при температуре около 130 °С. Побочным продуктом данной реакции является глицерин, который используют в косметической промышленности. В результате обработки удаляется большая часть метанола, а в самом биодизеле остается лишь малая его часть. Далее образцы каждой партии отправляют на тест, где их проверяют на соответствие международным стандартам качества.

Биотопливо «второго поколения» производится на базе древесных отходов; биотопливо «третьего поколения» – на базе переработки водорослей. Из производимого объема более 80% приходится на биоэтанол и 18% на биодизель. Оба эти продукта выступают в качестве

альтернативного топлива на транспорте, а также важного ресурса для диверсификации источников энергии, смягчения последствий изменения климата путем сокращения выбросов парниковых газов [5].

В настоящее время полномасштабное развитие индустрии топливных биотехнологий, в частности биоэтанола и биодизеля, возможно лишь при благоприятных климатических и агротехнических условиях и при значительной господдержке как самой промышленности и научных исследований в этой области, так и соответствующих сельхозпроизводителей. Однако, такая господдержка провоцирует переход отраслевых инвестиций из сфер традиционного «пищевого» агробизнеса в субсидируемое техническое растениеводство, что может создать риски с точки зрения продуктообеспечения. Главной целью, которой стоит задаваться, поддерживая развитие химических биотехнологий в России, следует считать развитие производства технических сельскохозяйственных культур и развитие собственной научной базы в этой сфере.

Список литературы

1. Гринин, А. Л. Анализируя глобальные проблемы XXI в. Обзор и прогноз на основе доклада Римского клуба «Come On!» / А. Л. Гринин // Век глобализации. – 2020. – Т. 36, № 4. – С. 47 – 64.
2. Modeling of Technological Processes for a Rectification Plant in Second-Generation Bioethanol Production / O. Liaposhchenko et al. // Processes. – 2021. – V. 9, No. 6. – P. 944.
3. OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028 [Electronic resource]. OECD, 2019. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2019-2028_agr_outlook-2019-en.
4. A review on prospective production of biofuel from microalgae / R. Ganesan et al. // Biotechnol. Reports. – 2020. – V. 27. – P. e00509.
5. Кузнецова, Г. В. Производство биотоплива в развивающихся странах: проблемы и перспективы / Г. В. Кузнецова // Национальные интересы приоритеты и безопасность. 2012. – Т. 8, № 45. – С. 53 – 63.

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

*Я. А. Роговцова, А. П. Пудовкин**

ИНДУСТРИЯ 4.0. ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0 – термин Industrie 4.0, предложенный на Ганноверской ярмарке 2011 года) предполагает новый уровень организации производства и сопровождения всех стадий жизненного цикла выпускаемой продукции, основанный на массовом внедрении современных информационных технологий в промышленность, в том числе масштабной автоматизации бизнес-процессов, широкого внедрения искусственного интеллекта, облачных вычислений (Cloud Computing), интернета вещей (Internet of Things – IoT). Кроме того, к элементам Индустрии 4.0 относятся робототехника, большие данные (Big Data), умные сети (Smart Grid), аддитивные технологии, дополненная и виртуальная реальность, промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things – IIoT). Многие из перечисленных технологий уже существуют и применяются на практике. Однако, для реализации концепции Индустрии 4.0 необходимо обеспечить их тесное взаимодействие и координацию. Объединение в единую систему вычислительных и физических ресурсов требует развития так называемых киберфизических систем (Cyber-Physical System – CPS). С одной стороны вычислительные системы управляют физическими объектами, но при этом изменения в физических объектах оказывают влияние на компьютерные вычисления. Благодаря современным информационным технологиям, в частности, развитию сети Интернет, исчезают барьеры, связанные с расстоянием, временем или какими-то иными ограничениями на взаимодействия между людьми и машинами, людьми и людьми, машинами и машинами. Быстрые изменения в реальном времени в ответ одно из основных ключевых свойств Индустрии 4.0. При этом следует отметить, что перспективы развития киберфизических систем вероятно будут оказывать влияние не только на промышленность (оборудование, логистику, системы управления бизнесом и пр.), но и на общество в целом, и поэтому должны рассматриваться не только в техническом, а в более широком социокультурном аспекте [1].

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

В литературе футуристы представляют различные перспективы развития технологий в ближайшие 5 – 10 лет, связанных с четвертой промышленной революцией. В частности предполагается, что 10% людей будет носить одежду, подключенную к сети Интернет, 90% людей будет иметь возможность неограниченного и бесплатного хранения данных, появится первый робот-фармацевт, к сети Интернет будут подключены более триллиона различных датчиков, будет создан автомобиль с помощью 3D-печати, найм персонала на работу будет производиться роботами, появятся коммерческие имплантируемые в тело телефоны, самоуправляемые автомобили составят 10% от общего числа, 5% потребительских товаров будут печататься на 3D-принтере.

Применение таких систем может привести к геополитическим, демографическим, экономическим и социальным последствиям, которые потребуют решения на национальном уровне [2]

В широком смысле четвертая промышленная революция – это переход на автоматизированное управление предприятием в реальном времени с помощью интеллектуальных систем, в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящей за границы одного предприятия [3].

В узком смысле Индустрия 4.0 (Industrie 4.0) – это один из проектов государственной Hi-Tech стратегии Германии до 2020 года, описывающий концепцию умного производства (Smart Manufacturing) на базе глобальной промышленной сети интернета вещей и услуг (Internet of Things and Services).

Немецкая академия наук и инженерии (Acatech) описала шесть основных шагов, которые необходимо пройти для организации производства согласно концепции Индустрия 4.0 [4]. К ним относятся:

1. Компьютеризация (Computerisation). Обеспечение средствами компьютерного управления всех основных компонентов производства.

2. Сетевое взаимодействие (Connectivity). Обеспечение всех технологий проектирования и производства в единую среду для совместного функционирования, обслуживания и др.

3. Обозримость (Visibility). Создание цифрового отображения или виртуального двойника предприятия, позволяющего контролировать деятельность предприятия в реальном времени и принимать обоснованные решения в условиях быстро изменяющейся ситуации. На данном этапе появляется необходимость в сборе больших данных.

4. Прозрачность (Transparency). Связь цифрового отображения с аналитическими системами, обрабатывающими большие данные и решение задач, связанных с извлечением из больших данных знаний (Data Mining).

5. Прогнозирование (Predictive capacity). Применение технологий имитационного и математического моделирования, позволяющих осуществлять прогнозы (прогнозная или предиктивная аналитика).

6. Адаптивность (Adaptability). Возможность на основе прогноза осуществлять изменения в управлении предприятием в ответ на изменения внешней среды.

К достоинствам Индустрии 4.0 относятся:

1. Автоматизация труда. Тяжелая и грязная работа будет отдана роботам. Людям в основном нужно будет только управлять этими машинами. Важным является то, что человек будет связан с управлением устройствами.

2. Экономика по требованию. Вместо того чтобы производить множество ненужных и невостребованных товаров будут производиться именно те товары, которые нужны конкретному человеку. Будет возможность создавать индивидуальные (персонифицированные) товары под конкретные потребности конкретного клиента.

3. Облачные технологии. Все данные будут храниться в облаке, там же будут находиться различные программные средства.

К потенциальным проблемам Индустрии 4.0 можно отнести:

1. Неравенство людей. В некоторых регионах не состоялась даже вторая промышленная революция. Соответственно, это будет приводить к тому, что неравенство людей будет увеличиваться. Такое неравномерное развитие может стать проблемой в мировой экономике.

2. Возможные проблемы в мировой экономике. Большое количество людей потеряет работу, что может привести к кризису.

3. Старение населения при сокращении численности молодого населения. Самую травмоопасную работу начнут выполнять роботы, соответственно человеку не придется губить свое здоровье, и он проживет дольше.

4. Изменение рынка профессий. Людям нужно будет осваивать новые профессии.

5. Повсеместное наблюдение, контроль личной жизни. Цифровые технологии проникают во все сферы жизни. В будущем для получения любых документов или при приеме на работу будут проверяться абсолютно все данные, которые есть в доступе.

6. Кибернетические войны. За возможность владеть информацией будут бороться множество людей и компаний (информация – новая нефть).

7. Международные конфликты.

Таким образом, за несколько лет термин Industrie 4.0, предложенный на Ганноверской ярмарке 2011 года, стал интернациональным и

более известен как Индустрия 4.0 (Industry 4.0). Четвертая промышленная революция затрагивает интересы не только отдельного предприятия или отрасли, но и общества в целом, поэтому должна рассматриваться не только в техническом, но и в социокультурном аспекте с учетом вызываемых ею изменений. На сегодняшний день полностью представить степень изменения общества в результате четвертой промышленной революции предсказать достаточно трудно. Четвертая промышленная революция открывает неограниченные возможности для развития государств, компаний и отдельных граждан. Однако ряд последствий ее внедрения нельзя оценить однозначно: с одной стороны снижение цен на товары и услуги, мобильности и информированности граждан, снижение затрат и рост производительности труда, с другой стороны – сокращение потребности в персонале, падение доходов и ухудшение условий занятости, сокращение социальных программ, рост неравенства.

Список литературы

1. Шваб, К. Технологии Четвертой промышленной революции / К. Шваб, Н. Дэвис. – БОМБОРА, 2018. – 320 p.
2. Strategic Target System to Select Digitalization Measures in Manufacturing Companies / Schuh G. et al. // Boosting Collaborative Networks 4.0. PRO-VE 2020. 2020. P. 227 – 236.
3. Цифровое предприятие: трансформация в новую реальность / Ананьин В. и др. // Бизнес-информатика. – 2018. – Т. 44, № 2. – P. 45 – 53.
4. Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies – Update 2020 / Schuh G. et al. // acatech STUDY. – 2020.

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

ВИДЫ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ

При изготовлении корпусных деталей из алюминия чаще всего применяются такие формообразующие операции:

- фрезерная обработка;
- токарная обработка;
- литье заготовок из алюминиевых сплавов.

В настоящее время фрезеровка алюминия является одним из наиболее часто используемых способов обработки данного материала.

Алюминий является тем конструкционным материалом, который нашел широкое применение в самых разных производственных сферах.

Между тем, не часто он используется без проведения предварительной обработки, которая позволяет придать заготовке требуемую форму и нужный размер.

Сегодня именно фрезеровка позволяет выполнить обработку алюминия не только быстро, но и максимально качественно.

Данный металл обладает целым комплексом уникальных свойств, среди которых можно выделить легкость, прочность, а также отсутствие коррозионных процессов, разрушающих поверхность.

Можно отметить и высокие показатели по тепло- и электропроводности данного материала. Все это и объясняет огромную популярность алюминия в самых разных промышленных сферах.

За счет того, что алюминий обладает повышенной пластичностью, проводить любую его обработку достаточно сложно. Этот процесс требует особого подхода и строгого соблюдения установленной последовательности.

Процесс его фрезерования вне зависимости от выбранного способа повышает риск возникновения на поверхности металла различных типов дефектов, таких как вмятины и выбоины.

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

В этом случае при неправильном выполнении фрезеровки повышается вероятность сильно испортить заготовку. Даже при работе на современном 3D-станке с ЧПУ еще на этапе крепления алюминиевой детали на рабочем столе ее можно повредить.

В этом случае специалисты советуют при использовании автоматического оборудования для фрезерования алюминия вместо механического типа крепления детали использовать вакуумный способ фиксации.

Особенно это актуально для тонкостенного листового материала, который к тому же имеет большие размеры.

Следует отметить и то, что алюминий обладает повышенной чувствительностью к различным типам вибрации, в том числе и от инструмента. Вибрация также может стать причиной появления на поверхности алюминия различных видов дефектов.

При работе с алюминием на станке следует с особой точностью подбирать соответствующий режим фрезеровки, чтобы не испортить алюминиевую заготовку.

Технология токарных работ по металлу предполагает использование специальных станков и режущего инструмента (резцы, сверла, развертки и др.), посредством которого с детали снимается слой металла требуемой величины. Токарная обработка выполняется за счет сочетания двух движений: главного (вращение заготовки, закрепленной в патроне или планшайбе) и движения подачи, совершаемого инструментом при обработке деталей до заданных параметров их размера, формы и качества поверхности.

За счет того, что существует множество приемов совмещения этих движений, на токарном оборудовании работают с деталями различной конфигурации, а также осуществляют целый перечень других технологических операций, к которым относятся:

- нарезание резьбы различного типа;
- сверление отверстий, их растачивание, развертывание, зенкование;
- отрезание части заготовки;
- вытачивание на поверхности изделия канавок различной конфигурации.

Естественно, что токарная обработка предполагает получение готового изделия, которое соответствует определенным стандартам качества. Под качеством в данном случае подразумевается соблюдение

требований к геометрическим размерам и форме деталей, а также степени шероховатости поверхностей и точности их взаимного расположения.

Среди литейных алюминиевых сплавов наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий–кремний (силумины). Сплавы системы алюминий–медь обладают пониженными литейными свойствами, склонны к образованию усадочных трещин и рассеянной усадочной пористости. Преимущество этих сплавов – теплопрочность. Сложные алюминиевые сплавы, легированные медью и кремнием, обладают высокой жидко-текучестью. Алюминиево-магниевого сплавы склонны к окислению, образованию усадочных трещин, обладают пониженной жидко-текучестью, изготовление отливок вызывает трудности. Алюминиевые сплавы в целом склонны к газопоглощению, что приводит к получению отливок с газовой пористостью и раковинами. Несмотря на то что линейная усадка алюминиевых сплавов невысока (0,9...1,4%), они склонны к образованию усадочной пористости.

При выборе способа литья необходимо учитывать возможности имеющегося оборудования, а также уровень литейной технологии и технологии механической обработки.

1. Литье в оболочковые формы с литьем в песчано-глинистые формы. Целесообразно переводить на литье в оболочковые формы детали, которые при отливке в песчано-глинистые формы трудоемки в случае механической обработки и при очистке (например, зубчатые колеса, звездочки), а также детали, изготавливаемые из поковок (например, коленчатые валы, кулачковые валики и др.). Как правило, перевод на литье в оболочковые формы деталей, изготавливаемых из поковок, если такой перевод допустим по конструктивным соображениям, оказывается экономически целесообразным.

2. Литье в кокиль с литьем в песчано-глинистые формы. Литье в кокиль имеет более высокие технико-экономические показатели при одинаковом уровне механизации. Основным источником экономии при кокильном литье – уменьшение расходов на формовочные материалы и изготовление форм.

3. Литье под давлением с литьем в кокиль, реже с литьем в песчано-глинистые формы. Литье под давлением является наиболее экономичным способом получения заготовок из алюминиевых и магниевых сплавов. Литье под давлением является одним из наиболее прогрес-

сивных способов получения заготовок, так как почти полное отсутствие последующей механической обработки обеспечивает значительную экономию металла.

Список литературы

1. Кондаков, А. И. Выбор заготовок в машиностроении : справочник / А. И. Кондаков, А. С. Васильев. – М. : Машиностроение, 2007. – 560 с. – ISBN 978-5-217-03382-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL : <https://e.lanbook.com/book/770> (дата обращения : 15.12.2020). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

2. Копылов, Ю. Р. Дистанционное изучение курса «Технология машиностроения» в Интернете : учебное пособие / Ю. Р. Копылов, А. А. Болдырев. – СПб. : Лань, 2020. – 320 с. – ISBN 978-5-8114-4354-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL : <https://e.lanbook.com/book/138166> (дата обращения : 15.03.2021). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

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

*А. И. Скоморохова, Д. С. Алексенцев**

КОНЦЕПЦИЯ ПИЩЕВОГО 3D-ПРИНТЕРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Производство изделий многоуровневого функционального назначения имеет большое значение во многих отраслях промышленности и АПК, в частности, этот вопрос актуален при изготовлении продуктов питания. Основным направлением исследований является придание продукции определенного набора лечебно-профилактических свойств и удовлетворение индивидуальных потребностей в сфере питания. Это возможно посредством аддитивных технологий, уже получивших распространение и признание среди потребителей в мире [1].

Создание продуктов с заранее заданным содержанием различных питательных веществ и требуемыми вкусовыми свойствами посредством технологии трехмерной печати возможно за счет правильного подбора ингредиентов в качестве материала для печати, номенклатура которых постоянно расширяется. Следует отметить, что развитие такого направления, как хромотография – в особенности газового типа позволяет выявлять новые вещества, которые обладают ценными пищевыми свойствами.

Важной особенностью выбора ингредиентов для трехмерной печати является возможность использования дешевого нетрадиционного сырья, например, насекомых, мучных червей, водорослей, которые при традиционном производстве трудно, а зачастую невозможно подать в эстетически приемлемом виде. Главное требование – подходящая для печати консистенция, которая обеспечивается тщательным подбором используемых материалов и выбором связующего вещества. Ввиду этого в качестве материала для 3D-печати можно использовать сельскохозяйственное сырье, имеющее в своем составе множество полезных витаминов, микро- и макрокомпонентов, что способствует расширению ассортимента полезных продуктов здорового питания профилактического и лечебного назначения.

В настоящее время пищевые 3D-принтеры уже используют для создания макаронных изделий, прототипов новых сладостей, блинов,

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

печати на напитках и изготовления кондитерских продуктов необычной конфигурации.

В качестве сырья для работы с трехмерной печатью в основном используют шоколад, пищевую мастику, сахар, сыр, пасты из овощей и фруктов, муку, паштеты из рыбы, мяса и печени, а также пищевые красители и вкусовые добавки.

К наиболее важным преимуществам 3D-печати, помимо возможности создания функциональных продуктов, относятся [2]:

- сокращение отходов ввиду строго определенного количества требуемого сырья;
- автоматизация процесса приготовления, исключая потребность в персонале высокой квалификации и постоянном присутствии человека;
- возможность создания идентичных пищевых продуктов, что при ручной готовке реализовать практически невозможно;
- выполнение большого количества индивидуальных заказов;
- производство изделий сложной конфигурации, имеющих уникальный дизайн.

Создание продуктов питания с применением аддитивных технологий позволит задавать точно определенный набор функциональных свойств, придавать блюду требуемые вкусовые качества, экспериментировать с внешним видом практически без ограничений. Точно заданный набор полезных свойств упрощает поддержание диетического питания при различных заболеваниях и их профилактике, а также подходит для людей, которым требуется особый рацион (например, спортсмены, дети и т.д.) [3].

Использование для печати растительных материалов отечественного производства позволит снизить затраты на сырье, а применение на всех стадиях переработки высокоэффективных технологий решит проблему хранения и транспортировки ингредиентов. При этом важно, чтобы подготовка материала к печати и процесс печати осуществлялись при режимных параметрах, исключающих потерю биологически активных веществ, присутствующих в исходном продукте.

Технология пищевой трехмерной печати также открывает новые возможности для ресторанного и туристического бизнеса. Об этом свидетельствует успех лондонского ресторана Food Ink, в котором вся посуда, мебель и предлагаемые блюда производятся с помощью 3D-печати [4].

Несмотря на приведенные достоинства пищевой 3D-печати, в настоящее время она не находит широкого распространения в отечественной промышленности. Зачастую пищевые 3D-принтеры

применяют при создании декоративных кондитерских изделий, что не в полной мере раскрывает потенциал аддитивного производства. Поэтому вопрос разработки аналогов зарубежного оборудования и внедрение отечественных технологий достаточно актуален и требует серьезного рассмотрения.

Важными конструктивными элементами пищевого 3D-принтера являются экструдер и рабочий стол, на котором осуществляется построение детали.

Исполнение экструдера определяет скорость и качество печати. Пищевой материал, имеющий вязкую пастообразную консистенцию, проталкивается через сопло, как правило, с помощью сжатого воздуха или выдавливания. Форсунки могут различаться в зависимости от того, какой используется тип продуктов питания или желаемой скорости печати (обычно, чем меньше размер сопла, тем больше времени занимает печать). Это делает актуальным вопрос о разработке сопла, оснащенного устройством автоматического изменения размера.

При выдавливании материала происходит его нагрев до определенной температуры, которая должна оставаться постоянной в течение всего процесса печати, ввиду чего целесообразно внедрение тепловых аккумуляторов в устройство печатающей головки. Для обеспечения эффективного температурного режима могут быть использованы электрические нагреватели. Применение эластомеров в качестве основы нагревателей позволит осуществлять равномерный подвод тепла на поверхностях, обладающих сложным рельефом и большой площадью.

Рабочий стол также зачастую оснащается устройствами подогрева и поддержания требуемых температур, обеспечивающих более качественное осаждение и затвердевание материала. При аддитивном производстве продуктов питания в некоторых случаях требуется дополнительная обработка для доведения изделия до готовности, например, выпекание или жарка.

Так как процесс печати сопровождается постоянным нагревом и необходимостью поддержания как можно более стабильных температур, возникает проблема обеспечения температурных режимов, не превышающих температуру денатурации важных биологически активных веществ. Это особенно важно при производстве функциональных продуктов питания лечебно-профилактического назначения. Нагрев при щадящих температурах возможен за счет внедрения вакуумных технологий.

Таким образом, разработка пищевого 3D-принтера позволит расширить ассортимент здоровых продуктов питания, обладающих требуемым набором функциональных свойств, заданными органолептичес-

скими показателями и уникальным сложным дизайном, что практически невозможно достичь посредством традиционных методов приготовления. Использование дешевого растительного сырья способствует обеспечению продовольственной безопасности страны. Выбор ингредиентов высокого качества в совокупности с высокоэффективными технологиями переработки снизит затраты на производство при сохранении лечебно-профилактических показателей готовой продукции.

Дополнительного повышения энергоэффективности изготовления продуктов питания можно достичь посредством оснащения 3D-принтера теплоаккумулирующими элементами, которые позволят поддерживать стабильную температуру в процессе печати. Внедрение вакуумных технологий делает возможным осуществление низкотемпературной постобработки, не влекущей потерю биологически активных веществ, например, при работе с изделиями из теста, когда требуется выпекание.

Список литературы

1. Lupton, D. 'Download to delicious': Promissory themes and sociotechnical imaginaries in coverage of 3D printed food in online news sources / D. Lupton // *Futures*. Elsevier. – 2017. – № 93. – P. 44 – 53. DOI: 10.1016/j.futures.2017.08.001

2. Дресвянников, В. А. Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности / В. А. Дресвянников, Е. П. Страхов, А. С. Возмищева // *Продовольственная политика и безопасность*. – 2017. – № 3, Т. 4. – С. 133 – 139.

3. Paediatric-friendly chocolate-based dosage forms for the oral administration of both hydrophilic and lipophilic drugs fabricated with extrusion-based 3D printing / С. Karavasili, А. Gkaragkounis, Т. Moschakis et al. // *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020. 147:105291. DOI:10.1016/j.ejps.2020.105291

4. Food Ink. [Электронный ресурс]. – URL : <http://foodink.io/> (дата обращения 22.09.2021).

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

*А. Д. Смирнов**

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЯХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Увеличение концентрации населения в городах из-за урбанизации и связанный с ним рост автомобильного транспорта приводит не только к повышенному росту спроса на углеводородные виды топлива, но и к экологическим проблемам, связанным с вредными выбросами в атмосферу продуктов его сгорания (углекислого газа, оксидов азота и пр.) [1]. Широкое внедрение электротранспорта (electric vehicles – EV) позволит сократить выбросы вредных веществ в атмосферу и улучшить качество воздуха. Проблема загрязнения атмосферы особенно актуальна для крупных городов, где рост населения в результате урбанизации ведет к увеличению автотранспорта. Парижская декларация об электромобильности и изменении климата и призыв к действию, принятая в 2015 году, ставит целью к 2030 году обеспечить наличие 100 млн. электромобилей и 400 млн. двух- и трехколесных транспортных средств [2].

Для обеспечения электробезопасности и предотвращения аварий необходимо разработать правила техники безопасности, в частности, касающихся как оборудования для зарядки электромобилей (Electric Vehicle Charging Stations – EVCS), так и батареи электромобиля. В настоящее время количественная оценка электробезопасности с учетом условий эксплуатации крупномасштабных зарядных станций для электромобилей является сложной задачей [3].

С уменьшением стоимости электромобилей их количество резко возросло. Одновременно развивалась зарядная инфраструктура. Крупномасштабные зарядные станции создаются с учетом одновременного заряда сотен и более электромобилей, и одновременной интеграции как в существующие, так и заново проектируемые электросети. Было опубликовано множество стандартов и правил, касающихся безопасной эксплуатации электромобилей, в которых основное внимание уделяется батарейному блоку, штекерам и разъемам, а также оборудованию для электропитания электромобилей.

Безопасность батареи электромобиля рассматривается производителями транспортных средств с точки зрения предотвращения возго-

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

рания, взрыва и других потенциальных аварий, вызванных отказом и неправильной работой самой батареи. Штепсельные вилки и разъемы, а также оборудование для питания электромобилей с функциями защиты также были рассмотрены в нескольких стандартах с точки зрения безопасности. Например, Общество Автомобильной Инженерии (Society of Automotive Engineering – SAE) опубликовало свои рекомендуемые методы зарядки электромобилей, подключаемых к электросети (plug-in EV). Стандарт SAE J1772 охватывает общие физические, электрические и эксплуатационные требования для систем зарядки электромобилей в Северной Америке [4].

Существуют три основных метода, широко используемых для зарядки EV: (1) Проводная зарядка (conductive charging), когда аккумулятор электромобиля соединяется кабелем и подключен непосредственно к зарядной сети; (2) Индуктивная зарядка (inductive charging), которую также называют беспроводной, когда электричество передается от одной магнитной катушки в зарядном устройстве, на вторую магнитную катушку, установленную на электромобиле; (3) Обмен батареей (battery exchange), когда разряженная батарея электромобиля заменяется в специальных обменных центрах на заряженную, (Battery Swapping Station – BSS).

Пользователи EV отдают свое предпочтение проводной зарядке из-за ее низкой стоимости, высокой эффективности и более простой бизнес-модели.

Крупномасштабные зарядные станции чаще всего размещаются в местах длительной и массовой парковки автотранспорта. Такие зарядные станции обычно имеют мощность зарядки от 5 до 25 кВт, некоторые из них также могут иметь мощность зарядки 26...60 кВт. Реже встречаются зарядные станции с мощностью более 60 кВт. Главные минусы таких зарядных станций в том, что они имеют высокую стоимость установки, так же снижают срок службы аккумуляторной батареи и имеют более высокую стоимость зарядки.

Типовые зарядные станции состоят из трех частей: Физическая система (Physical System), физическое оборудование, предоставляющее непосредственно услуги зарядки электромобиля; Коммуникационная система (Communication System), Управляющий центр (Control Center).

В соответствии с последними рекомендуемыми стандартами предлагается архитектура для крупных зарядных систем, позволяющая управлять зарядкой от десятков до сотен автомобилей, которая также может использовать батарею в электромобилях как буферную емкость и отдавать энергию обратно в сеть.

Физическая система подключается к внешней сети электроснабжения, оборудована преобразователями напряжения. Коммуникационная система передает сигналы между физической системой и центром управления. Центр управления может координировать управление зарядным током в соответствии с уровнем заряда батареи, чтобы обеспечить интеллектуальную зарядку (Smart Charging). Центр управления также может регулировать режимы управления активной/реактивной мощностью в соответствии с требованиями эксплуатации. Согласно стандарту, существует два режима управления активной мощностью и четыре режима управления реактивной мощностью для распределенных энергетических ресурсов. Распределенные энергетические ресурсы могут выбирать различные режимы управления в нормальных условиях эксплуатации и при прохождении в зависимости от приоритета прохождения.

Предлагаемая структура управления рисками крупномасштабной системы включает три уровня:

- 1) Требования обеспечения безопасности (Safety Considerations);
- 2) Оценка рисков (Risk Assessment);
- 3) Контроль рисков (Risk Control).

Необходимо изучить требования к обеспечению безопасности на разных уровнях, предложить методы анализа оценки рисков, и, наконец, в процедурах проектирования и планирования выполнить интегрированный анализ и сравнение, чтобы соответствовать требованиям иерархии мер по контролю рисками.

Безопасность можно определить, как вероятность того, что зарядная станция будет продолжать должным образом функционировать, не вызывая появления опасного напряжения прикосновения на внешних частях зарядного оборудования. Некоторые неисправности могут поставить под угрозу безопасность, но не функциональность зарядного устройства, которое может продолжать работать. Эта очень опасная ситуация особенно для крупномасштабных зарядных устройств, с которым имеют дело большое количество людей. Поскольку электрическая безопасность зарядной станции со временем снижается, ее необходимо оценивать для предотвращения опасных ситуаций, например, травмы людей, повреждение устройств, нестабильная работа сети и прерывание подачи питания на батарею электромобиля.

Требования обеспечения безопасности включают все три уровня. Проводная зарядка требует, чтобы клиенты подключали свои транспортные средства к оборудованию зарядной станции таким образом, чтобы конструкция защищала клиента от поражения электрическим током в процессе зарядки автомобиля.

Защита от поражения электрическим током достигается за счет реализации двух уровней защиты: базовой защиты (basic protection) (т.е. предотвращения контакта людей с находящимися под напряжением деталями) и защиты от неисправностей (fault protection) (т.е. защиты в случае повреждения основной изоляции), которая обычно достигается путем отключения питания.

Крупная зарядная станция должна иметь резервный маршрутизатор и аккумуляторные ресурсы для поддержания системы связи зарядной станции с минимальными затратами. Защита от перегрузки по току является основной функцией защиты EVCS. Адаптивная защита с помощью связи рекомендуется для координации устройств защиты и изменения алгоритмов защиты автоматических выключателей при необходимости. Однако производительность адаптивной защиты в первую очередь зависит от уровня кибернетической защиты (cyber reliability) зарядной станции. В случаях задержек в передаче сигналов в коммуникационной системе и отказа защитного устройства, риск значительно возрастет.

Для обеспечения безопасной эксплуатации зарядных станций необходимо не только соблюдать требования безопасности, но и соблюдать другие существующие стандарты и рекомендации, такие как граница вспышки дугового разряда, совместимость с сетями, периодическая проверка оборудования, соблюдение пожарной безопасности, и своевременное техническое обслуживание.

Список литературы

1. Гринин, А. Л. Анализируя глобальные проблемы XXI в. Обзор и прогноз на основе доклада Римского клуба «Come On!» / А. Л. Гринин // Век глобализации. – 2020. – Т. 36, № 4. – С. 47 – 64.
2. Ратнер, С. В. Государственное стимулирование развития рынка электрических транспортных средств: мировой опыт / С. В. Ратнер, С. С. Маслова // Финансы и кредит. – 2017. – Т 23, № 22. – С. 1281 – 1299.
3. Electrical Safety Considerations in Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations / Wang B. et al. // IEEE Trans. Ind. Appl. 2019. – V. 55, No. 6. – P. 6603 – 6612.
4. EV charging stations and modes: International standards / M. C. Falvo et al. // 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. IEEE. – 2014. – P. 1134 – 1139.

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

*И. В. Татаринцев, Н. В. Бондаренко**

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Одной из основополагающих проблем машиностроения является определение режимов резания. Режимы резания – это совокупность параметров, влияющих на процесс механической обработки. К ним относятся:

1) глубина резания – толщина слоя материала, удаляемого за один рабочий ход;

2) подача – величина перемещения инструмента относительно заготовки или заготовки относительно инструмента в направлении подачи за один оборот, за один рабочий ход или в единицу времени (минуту);

3) скорость резания – величина перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в единицу времени;

4) частота вращения – число оборотов твердого тела в единицу времени;

5) сила резания – усилие, возникающее при резании материалов в контакте заготовка–режущий инструмент;

6) мощность резания – это произведение силы резания на скорость резания.

Исходными данными при определении режимов резания являются:

1) материал заготовки и его характеристика (марка, состояние, механические свойства); точность размеров, точность формы, точность расположения поверхностей, требуемая шероховатость, технические условия; требования к состоянию поверхностного слоя (допускаемое упрочнение); вид заготовки, величина и характер припусков на обработку, наличие поверхностной корки;

2) режимы резания выбирают таким образом, чтобы была достигнута наибольшая производительность при наименьшей себестоимости операции.

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

- 3) тип и состояние металлорежущего оборудования (паспорта станков или каталоги);
- 4) метод обработки;
- 5) справочная литература.

Различают два метода назначения режимов резания – табличный и аналитический. Так, для табличного метода отечественная практика механической обработки накопила огромный нормативно – справочный материал, с помощью которого можно назначить любой режим резания для любого вида механической обработки. Однако, такой метод назначения режимов резания является весьма громоздким, так как требует анализа большого количества справочной информации. Более того, все режимные параметры взаимосвязаны и при изменении хотя бы одного из них автоматически изменяются и другие, что еще более усложняет процесс назначения режимов резания.

Аналитический (расчетный) метод определения режима резания менее трудоемок и более предпочтителен при проектировании технологических процессов механической обработки резанием. Он сводится к определению, по эмпирическим формулам, скорости, сил и мощности резания по выбранным значениям глубины резания и подачи. При этом необходимо помнить, что применяемые формулы, как правило, получены экспериментальным путем, то есть они справедливы только в тех условиях, в которых проводился эксперимент, из-за этого точные результаты можно получить лишь при соблюдении заданных границ значений параметров.

Аналитический метод позволяет наиболее точно определить параметры режима обработки, но большой объем вычислений делает его довольно трудоемким. Использование компьютера позволило бы значительно сократить время вычислений и оптимизировать расчет режимов резания. Тем не менее, такие программы имеют ряд недостатков.

Во-первых, стоит отметить, что не представляется возможным написать единую программу расчета режимов резания, учитывающую все особенности машиностроения, из-за чего для более частных случаев требуются отдельные программы или дополнительные блоки к уже существующим.

Во-вторых, подобным программам требуется активная техподдержка и частые обновления, так как необходимые данные для расчета связаны с базами данных самих программ. Несвоевременное обновление баз данных может привести к неточным результатам расчетов.

К преимуществам программ можно отнести высокую скорость работы, при необходимости возможность запускать такие программы на любых устройствах, в чем помогут современные технологии,

а в частности, перспективные облачные технологии, также при нормальном уровне поддержки данные программы могут служить на предприятиях длительное время, что позволит сократить расходы на приобретение новых программ.

Вопросы обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки производства, рассмотренные при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров, изложены в книгах [4, 5].

Список литературы

1. URL : http://osntm.ru/resh_rez.html
2. URL : https://libraryno.ru/4-16-opredelenie-rezhimov-rezaniya-osn_tex_mash/
3. Безъязычный, В. Ф. Расчет режимов резания : учебное пособие / В. Ф. Безъязычный, И. Н. Аверьянов, А. В. Кордюков. – Рыбинск : РГАТА, 2009. – 185 с.
4. 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.
5. Altunin, K. A. Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov. Advanced Materials and Technologies. – 2017. – No. 2. – P. 67 – 77.

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

*Т. В. Фижбах, М. А. Фунбаю, А. А. Чуприкова, Т. А. Лутовинова**

АДАПТАЦИЯ УСТАРЕВШЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РТИ ПОД СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Резиносмесь в процессе изготовления деталей проходит два этапа: формование и вулканизация. Для последней определяют оптимум (наименьшая продолжительность вулканизации, обеспечивающая при прочих одинаковых условиях наилучшие физико-механические и технические свойства вулканизата). Кроме времени, основными параметрами, указанными в нормативных документах с допусками, также являются:

– температура (при температурах ниже допустимых некоторые компоненты РС не вступят в реакцию, а при превышении возможно осмоление каучука);

– давление (при малом давлении резиносмесь заполнит пресс-форму неравномерно, а при избыточном возможна поломка самой формы).

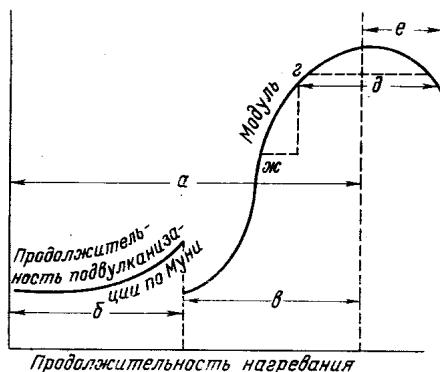


Рис. 1. Параметры вулканизации:

- а* – общая продолжительность вулканизации; *б* – продолжительность подвулканизации; *в* – продолжительность вулканизации;
г – оптимум вулканизации; *д* – величина плато вулканизации;
е – реверсия; *ж* – скорость вулканизации

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Материалы и технологии» ФГБОУ ВО «ПГТУ» Д. О. Завражина.

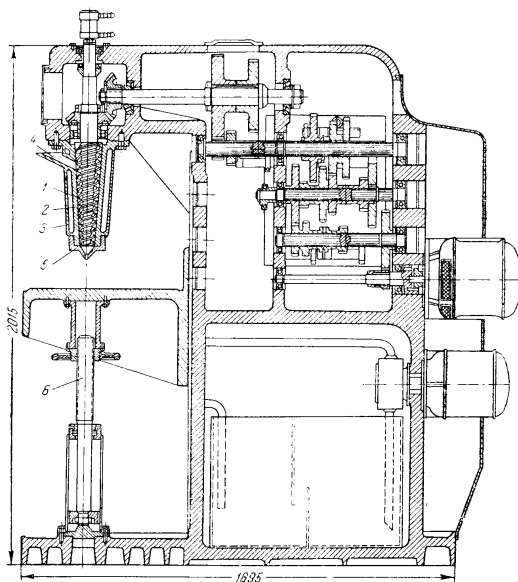


Рис. 2. Литьевая машина с червячной литьевой головкой:

1 – конусный червяк; 2 – конусообразный цилиндр; 3 – рубашка;
4 – загрузочная воронка; 5 – головка питателя; 6 – прижимной винт

Современные литьевые машины – термопластавтоматы (ТПА), являются универсальным оборудованием для получения штучных изделий. Данное оборудование имеет ряд преимуществ. Высокая производительность, так как в процессе вулканизации изделия в форме необходимое количество РС для следующего цикла подогревается в материальном цилиндре, вследствие чего начало вулканизации наступает раньше и время цикла существенно снижается.

Точность размеров изделия, достигаемая за счет того, что РС подается в уже сомкнутую форму. Также это влияет на следующие два достоинства. Экономичность производства, ввиду низкого количества выпресовки. Низкий процент внешневидовых дефектов, благодаря тому, что количество РС точно задано и контролируется автоматически. Высокая степень автоматизации позволяет проводить большинство технологических операций без участия человека.

Но большинство предприятий не могут полностью перевести производство на данное оборудование в силу его дороговизны и сложности ремонта. Они используют более простое и доступное оборудование – вулканизационные прессы (ВП). Причем большинство из них оснащены устаревшими контрольно-измерительными приборами.



Рис. 3. Многоканальный измерительный преобразователь Ш711/1-1

Для адаптации оборудования под современные стандарты и требования производства необходима его модернизация, позволяющая достичь сравнительно той же степени автоматизации, что и ТПА. Обработку данных, поступающих с датчиков (термопары, датчики давления, концевики), можно осуществлять с использованием многоканальных измерительных преобразователей (МИП), которые отображают текущие значения параметров и позволяют регулировать их автоматически. Основным достоинством данных приборов является то, что управление и контроль производятся централизованно. Но это имеет и свои минусы. Большая длина коммутационных кабелей и необходимость использования специальных проводов, например, термокомпенсационных. Обрыв на линии требует длительного поиска и устранения, в течение которых регулирование на данной линии невозможно. В случае поломки самого же прибора регулирование и контроль невозможен сразу на всех точках, подключенных к данному устройству. Лучшим вариантом будет использование сборных устройств, состоящих из отдельных блоков. Данный способ позволит избавиться от основных минусов МИПов. Высокая скорость и стоимость ремонта из-за использования блочной системы. Малая длина коммутационных кабелей, ввиду близкого расположения датчиков. Установка реле времени (например, УТ24) в связке с электронным манометром позволяет автоматизировать процесс изготовления изделия от закрытия пресс-формы до открытия включительно и соблюдать время и давление в допустимых пределах. Контроль и регулирование температурой производить терморегуляторами, например ТРМ-202, который позволит организовать передачу данных на сервер с помощью обычной витой пары, что позволит осуществлять контроль и регулирование с любого компьютера, имеющего необходимый доступ, но в случае нарушения линии связи выполнять необходимые действия возможно непосредственно на самом устройстве.



Рис. 4. Двухканальный регулятор с универсальным входом и RS-485 TPM-202

В совокупности эти меры позволят достичь устаревшему оборудованию степени автоматизации, сравнимой с ТПА, повысить производительность производства, снизить процент брака, связанного с человеческим фактором, и сэкономить бюджет.

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.
3. Поветкина, Ю. С. Технология получения современных резиновых смесей / Ю. С. Поветкина, Т. А. Луговинова, А. А. Чуприкова // Механические свойства современных конструкционных материалов : сборник материалов. – 2020. – С. 102–103.
4. Фунбаю, М. А. Особенности технологического режима получения резиновых смесей / М. А. Фунбаю, А. А. Чуприкова, Ю. С. Поветкина // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 4 т. – Курск, 2020. – С. 188 – 191.

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

*М. А. Фунбаю, Т. В. Фижбах, А. А. Чуприкова,
Т. А. Лутовинова**

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА НА ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

Натуральный каучук получают коагулирующей млечного сока (латекса) каучуконосных растений. Основной компонент каучука – углеводород полиизопрен (91 – 96%). Природный каучук встречается в очень многих растениях, не составляющих одного определенного ботанического семейства.

В данной статье мы рассмотрим влияние показателей технологических свойств натурального каучука на показатели резиновой смеси, на примере двух образцов натурального каучука SVR-3L.

Под технологическими свойствами понимают комплекс свойств каучуков и резиновых смесей, определяющих их перерабатываемость на технологическом оборудовании. К технологическим свойствам относятся пластозластические свойства, которые оцениваются пластичностью, жесткостью резиновых смесей и каучуков, их эластичным восстановлением, а также вязкостью по Муни.

Вязкость – свойство материала сопротивляться необратимому изменению формы. Вязкость каучука и резиновой смеси по Муни – сопротивление вращению дискового ротора в стандартной цилиндрической камере, заполненной испытуемым материалом под давлением при заданных температуре, продолжительности предварительного прогрева материала (1 мин), продолжительности вращения в нем ротора (4 мин). Пластичность – способность резиновой смеси изменять свою форму под действием деформационной нагрузки и сохранять свою форму после снятия нагрузки.

Принято считать, что чем выше показатель вязкости по Муни и ниже пластичность, то каучук считается менее технологичным, более жестким, возникают проблемы при переработки каучука в процессе изготовления резиновых смесей, как и в дальнейшей переработке самих смесей.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. О. Завражина.

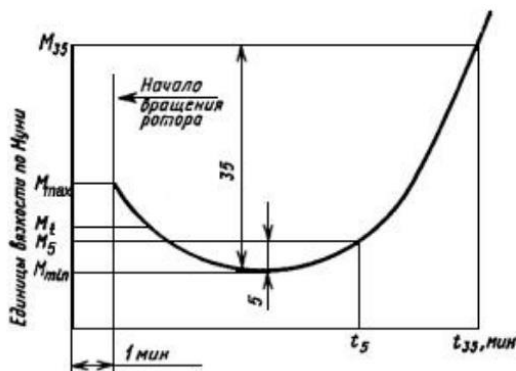


Рис. 1. Зависимость вязкости резиновых смесей от времени вулканизации, где M_t – вязкость [1]

1. Показатели натурального каучука SVR-3L

Показатель	Норма	Образец 1	Образец 2
Условная прочность при растяжении, МПа	Не менее 22,5	22,4	22,6
Оптимальное время вулканизации при 143 °С, мин	20 или 30	20	20
Вязкость по Муни МБ 1+4 (100 °С)	80 – 95	85	95
Пластичность		0,13	0,08

Кипы каучука по внешнему виду идентичные, неприятного запаха не слышалось, на срез каучук однородный и без белых пятен, но как видно из таблицы – показатели разнятся. Проанализировав данные таблицы, можно сделать вывод, что образец 1 более технологичен, чем образец 2.

Для сравнения были изготовлены две резиновые смеси на резиномесителе 71/17. Рекомендованная технологическая схема изготовления представлена в табл. 2.

Изготовление резиновых смесей происходило идентично. Но при наблюдении за процессом при пластикации каучука температура на РС 71/17 в камере для крашения у резиновой смеси 1 составила 85 °С, а в процессе крашения резиновой смеси 2 – 65 °С.

2. Технологическая схема изготовления резиновых смесей

Последовательность ввода материалов и наименование операции	Резиносмеситель РС 71/17	
	Время начала операции с момента загрузки каучука, мин	Продолжительность операции, мин
Загрузка каучука «SVR-3L» и пластикация	0	3–4
Ввод сантофлекса 13, ДФГ, стеарина, 2-меркаптобензтиазола, белил цинковых, мела, сплава СВОЗ-60 и смешение	4–5	3–4
Ввод углерода технического К 354, масла индустриального марки И-8А, литопона и смешение	7–8	3–4
Выгрузка резиновой смеси	10–11	1–2
Общее время изготовления, мин	11–12	

Исходя из этого можно сделать вывод, что чем каучук жестче, тем больше требуется времени для пластикации каучука. Следовательно, за положенное время каучук не наберет достаточной пластичности, что в дальнейшем повлияет на резиновую смесь.

Проанализировав все данные, можно сделать вывод – существует прямая зависимость показателей. Из полученных данных также следует, что вязкость по Муни и пластичность также влияют и на время начала подвулканизации резиновой смеси.

Для улучшения значений технологических показателей можно прибегнуть как к распарке каучука, в специальных распарочных камерах при температуре 60 °С, так и к дополнительной пластикация. Пластикация может производиться непосредственно на вальцах перед изготовлением р/с в течении 10 – 15 минут с зазором 10...15 мм. После произведенной пластикации, каучук полностью срезается, ему дают «отдых», затем после полного остывания загружают в резиносмеситель, где происходит крашение. Но из-за больших затрат по трудоемкости и времени прибегают к пластикации каучука в резиносмесителе. Кипа загружается в смеситель, где пластицируют до определенной температуры.

3. Показатели резиновых смесей

Наименование показателя	Значение показателя		
	норма	Образец 1	Образец 2
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	15,8	22,5	20,8
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	600	790/20	750/20
Вязкость по Муни МБ 1+4 (100 °С)	40 – 60	43	56
Пластичность	0,40 – 0,60	0,53	0,42
Время начала подвулканизации на приборе типа Муни при температуре 120 °С, мин	8 – 16	13	6

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.
3. Поветкина, Ю. С. Технология получения современных резиновых смесей / Ю. С. Поветкина, Т. А. Лутовинова, А. А. Чуприкова // Механические свойства современных конструкционных материалов : сборник материалов. 2020. – С. 102–103.
4. Фунбаю, М. А. Особенности технологического режима получения резиновых смесей / М. А. Фунбаю, А. А. Чуприкова, Ю. С. Поветкина // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 4 т. – Курск, 2020. – С. 188 – 191.

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

*А. А. Чуприкова, Т. А. Лутовинова, М. А. Фунбаю, Т. В. Фижбах**

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЧ-ОБРАБОТКИ
НА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕР-УГЛЕРОДНОГО
МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА Ф-4**

Модификация полимерных материалов введением в полимерную матрицу различных наполнителей открывает большие перспективы для создания материалов с новыми заданными технологическими и эксплуатационными свойствами.

Электрофизическая модификация (например, СВЧ-излучение) воздействует на структурные изменения полимеров, которые, в свою очередь, приводят к изменению всего комплекса макроскопических свойств. Наибольшим изменениям подвержены физико-механические характеристики: прочность, удлинение при разрыве, ползучесть и др. Механические характеристики полимера напрямую связаны со структурными параметрами (кристалличностью, молекулярным весом, спектром молекулярной релаксации и др.), изменяющимися при воздействии излучений.

В данной работе представлены результаты исследования физико-механических свойств наномодифицированного углеродными нанотрубками (УНТ) политетрафторэтилена при разной продолжительности СВЧ-излучения.

Актуальность таких исследований обусловлена широким использованием данного полимера при изготовлении изделий в различных отраслях промышленности, в частности, в машиностроении, электротехнике, медицине, пищевой и химической промышленности.

Для определения изменений электропроводимости полученных наномодифицированных материалов при СВЧ-обработке были проведены измерения температуры образцов в процессе СВЧ-нагрева в диапазоне от 0 до 100 с (табл. 1). Полученные данные позволяют определить границы теплового и нетеплового модифицирования для образцов с различным содержанием УНМ. Так, исходный материал Ф-4 в процессе СВЧ-обработки практически не нагревается: за 100 секунд обработки зарегистрировано незначительное повышение его температуры на 10 градусов. При этом даже незначительное количество внесенного

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. О. Завражина.

1. Кинетика нагрева образцов Ф-4 и композитов на его основе в СВЧ-электромагнитном поле

Состав композита Ф-4+УНТ, масс. част.	Температура образца композита Ф-4+УНТ (°С) в зависимости от времени СВЧ-обработки, с										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	21	22	23	25	26	27	28	28	29	30	32
0,2	21	25	29	36	43	46	50	53	58	64	68
0,5	21	36	80	98	123	134	145	172	189	196	202
1	21	48	109	162	183	220	250	273	–	–	–
1,5	21	52	113	212	260	305	–	–	–	–	–

углеродного модификатора в объеме 0,2 масс. част. УНМ увеличивает поглощение СВЧ-волн и нагрев материала почти на 50 градусов. Необходимо отметить, что температура плавления фторопласта 4 составляет около 327 °С, а рабочий интервал температур распространяется до 260 °С, что позволяет ограничить режимы нетепловой модификации температурным диапазоном от температуры окружающей среды до 80 °С.

Исходя из данных графика на рис. 1, у фторопласта 4 и композитов на его основе наблюдается увеличение прочности в зависимости от времени СВЧ-обработки (варьировалось от 0 до 40 секунд с шагом 10 секунд). Положительный эффект от СВЧ-обработки материала можно отметить: при кратковременной СВЧ-обработке (реализация механизма нетермической модификации полимерных материалов) в течение 10 – 20 секунд максимальное разрушающее напряжение увеличивается на 45 – 50% при сохранении значений наблюдаемого предела текучести. Аналогичные значения увеличения прочности наблюдаются для композитов с содержанием 0,2 и 1 масс. част. УНТ, а также 1,5 масс. част. при 20 сек СВЧ-обработки.

Следует отметить, что предел текучести (рис. 2) при всех условиях практически не меняется в сторону увеличения. Исключение составляет композит Ф-4+0,5 с масс. част. УНТ, который, однако, не показал значительного увеличения прочности на разрыв (повышение до 25%). Эти факты необходимо учитывать при разработке изделий из композитов на основе Ф-4, поскольку снижение предела текучести в некоторых случаях отрицательно скажется на характеристиках изделия.

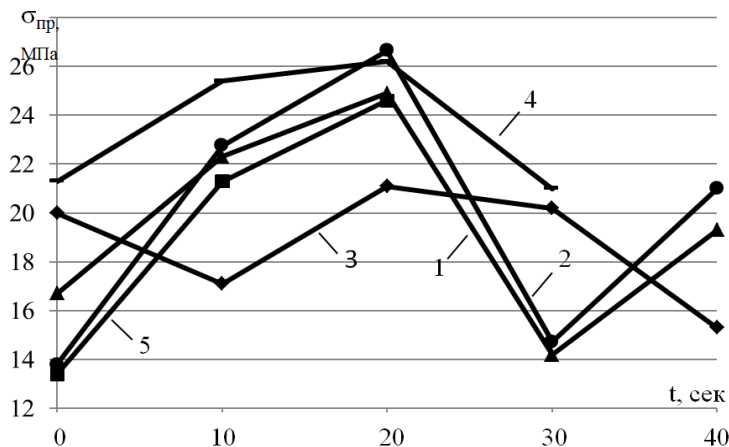


Рис. 1. Предел прочности при растяжении фторопласта 4 и композитов на его основе от времени СВЧ-обработки:

1 – Ф-4(чист.); 2 – Ф-4+0,2 масс. част.; 3 – Ф-4+0,5 масс. част.;
4 – Ф-4+1 масс. част.; 5 – Ф-4+1,5 масс. част.

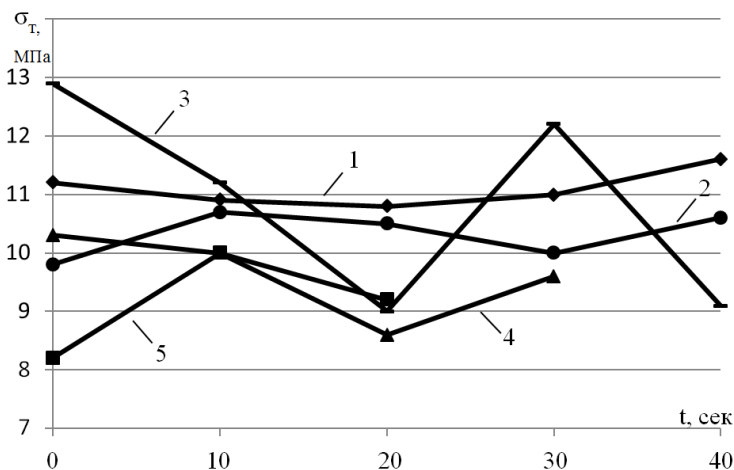


Рис. 2. Предел текучести при растяжении фторопласта 4 и композитов на его основе от времени СВЧ-обработки:

1 – Ф-4(чист.); 2 – Ф-4+0,2 масс. част.; 3 – Ф-4+0,5 масс. част.;
4 – Ф-4+1 масс. част.; 5 – Ф-4+1,5 масс. част.

Твердость материалов на основе Ф-4 определялась методом Шора по шкале D при 20 °С. Полученные значения соответствуют стандартному диапазону 55 – 59 единиц, значительных изменений не наблюдаются.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности получения модифицированного полимерного материала с повышенными электропроводящими свойствами. Значительные изменения достигаются даже при внесении сверхмалых добавок высокопроводящих материалов. Данный эффект можно использовать как в машиностроении для разработки новых методов переработки полимерных материалов с целью сокращения технологического цикла, так и в аппарато- и приборостроении для получения поглощающих защитных покрытий и проводящих элементов из полимерных композиционных материалов.

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. Серия: Математика. Физика. – 2011. – Т. 23, № 11. – С. 123 – 128.

2. Патент на изобретение RU 2361733 С2, 20.07.2009. Способ формования термопластов / Г. С. Баронин, В. М. Дмитриев, и др. // Заявка № 2007128686/12 от 25.07.2007.

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.

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

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

УДК 535.016

*Н. В. Венцера**

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 считаю равным от 1,33 до 1,50.

Также 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 стабильно-

* Работа выполнена под руководством канд. тех. наук, доцента кафедры «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ГГТУ» А. Ю. Потлова.

сти спектральных характеристик, геометрии, оптическим, акустическим и механическим свойствам [1].

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, имитирующих 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).

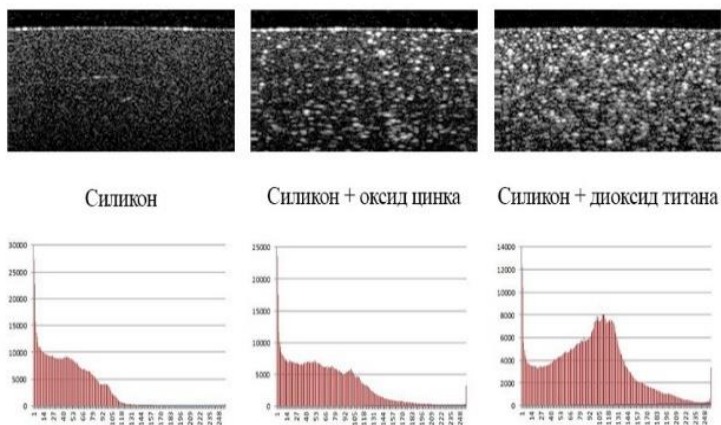


Рис. 1. Сравнение рассеивающих свойств диоксида титана, оксида цинка и двухкомпонентного силикона

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 интересу-

ющей 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 объектов. Например, создание стенок сосудов, или моделирование патологий.

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

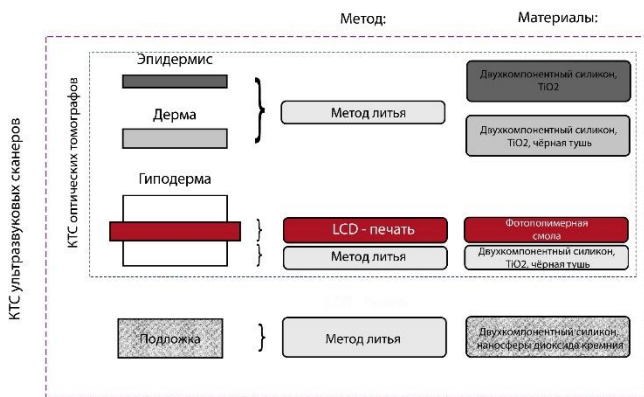


Рис. 2. Графическая модель проекта

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.

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

Также это демонстрационный фантом для студентов медицинских ВУЗов для отработки навыков работы с ультразвуковыми сканерами в В, D и M режимах.

Основной канал распространения – это партнерские магазины АО «Тулиновский приборостроительный завод «ТВЕС» и ООО «Медтехника», как партнеры кафедры «БМТ», так и заинтересованные в данной разработке предприятия.

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. Зайцев, С. М. 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. Саратовского университета. Нов. сер. Физика. – 2018. – Т. 18, вып.4. – С. 275 – 284.

Кафедра «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*А. Е. Кононенко, Т. В. Петерс**

НАПРАВЛЕННАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ МОЛОКА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ЛАКТОЗНОЙ ИНТОЛЕРАНТНОСТЬЮ

Согласно данным Всемирной Организации здравоохранения от 10 до 80% людей различных групп населения не могут потреблять молочные продукты в связи с ферментопатией, предопределенной патологией тонкой кишки, что связано с нарушением процессов всасывания углевода из-за отсутствия или недостаточной активности фермента лактазы. Причинами непереносимости лактозы могут быть наследственность, генная мутация и целиакия [1]. Непереносимость лактозы регистрируется у 16 – 18% восточных славян, и гораздо чаще свойственна жителям севера. По статистическим данным из каждых 100 человек этого региона ферментопатия наблюдается в 35 – 40 случаев. Эта категория людей нуждается в молочных продуктах без дисахарида лактозы, таких как творог, молочные напитки, сливки.

Основная доля безлактозных молочных продуктов на российском рынке представляется импортной продукцией [2]. В связи с санкционной политикой западных государств в отношении России принимаются меры по адаптации технологий производства молочной продукции такого сегмента отечественными производителями. Учитывая необходимость увеличения специфической молочной продукции, активируются работы по адаптивированию технологий производства безлактозных продуктов к имеющимся промышленным линиям и управлению качеством и безопасностью в соответствии с регламентированными требованиями нормативных документов.

Классическим способом снижения количества лактозы в молочных продуктах является частичное потребление дисахарида микроорганизмами закваски при сквашивании молочной смеси в процессе производства продукта. При легких симптомах непереносимости лактозы (когда фермент лактаза все еще присутствует, но недостаточно активен) можно употреблять любые сыры и кисломолочные продукты в пищевом рационе, при этом отказываясь от обычного молока. [3].

Эффективным технологическим способом снижения содержания лактозы в продуктах является ферментативный гидролиз с использо-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры ТОПХП ФГБОУ ВО «ТГТУ» О. В. Зюзиной.

ванием – β -галактозидазы (КФ 3.2.1.23), которая расщепляет до 98% молочной лактозы. Для изменения исходной концентрации лактозы в нормализованном молоке проводилась ферментация его путем добавления ферментного препарата – β -галактозидазы из расчета 700 Ед/г на 100 см³ молока.

Процесс гидролиза продолжался в течение 5 часов при температуре 37 – 38 °С. Через равные промежутки времени в пробах молока определяли содержание лактозы рефрактометрическим методом. По результатам эксперимента построена кинетическая кривая изменения концентрации лактозы (рис. 1).

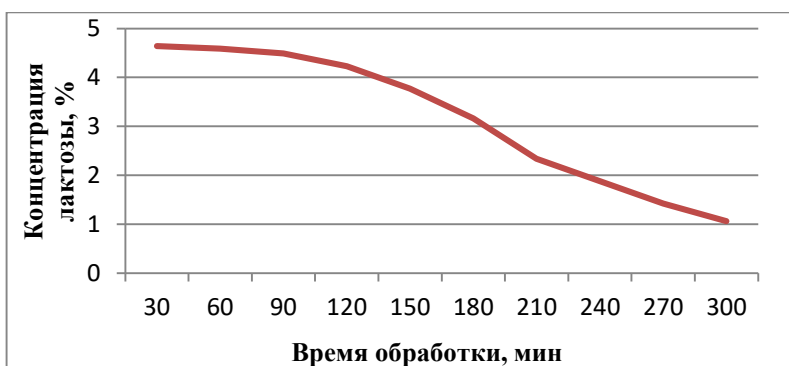


Рис. 1. График изменения концентрации лактозы

Математическая запись, выражающая зависимость изменения концентрации лактозы (y) при использовании ферментного препарата от времени гидролиза, имеет вид линейного алгебраического уравнения:

$$y = 0,4277x + 5,5453. \quad (1)$$

В экспериментах использовали пастеризованное молоко с разным содержанием лактозы, которое меняли путем ферментации β -галактозидазой от 5,2% до 3,0% с шагом 0,5%. Пять подготовленных образцов молока заквашивали методом прямого внесения биомассы кефирного грибка в соотношении 1:20. Сквашивание подготовленных образцов молока длилось 48 часов в термостате при температуре 23 °С.

Динамика изменения концентрации лактозы в пяти образцах с разным исходным содержанием углевода при сквашивании представлена на рис. 2.

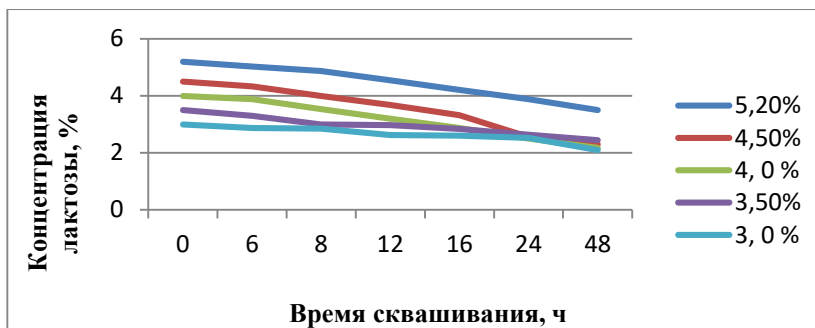


Рис. 2. Изменение концентрации лактозы в процессе сквашивания

Установлено, что в образцах напитка с исходным содержанием дисахарида в диапазоне от 5.2% до 4.0% концентрация лактозы при смешанном брожении изменяется с постоянной скоростью на протяжении всего процесса сквашивания. Характер кривых для образцов с наименьшим исходным содержанием углевода – 3.5% и 3.0% показывает плавное снижение концентрации лактозы на 80%, однако по истечении 8 часов изменение содержания дисахарида не наблюдается.

В процессе проведения эксперимента наряду с определением содержания лактозы в образцах сквашиваемого молока измеряли показатели титруемой и активной кислотности. В таблице представлены величины активной и титруемой кислотности через 24 часа и 48 часов. Это время соответствует состоянию слабого (односуточного) и среднего (двухсуточного) по зрелости напитка.

Показатели кисломолочного напитка

Исходная Концентрация лактозы в молоке, %	Слабый кисломолочный напиток			Средний кисломолочный напиток		
	Конечная концентрация лактозы, %	Кислотность		Конечная концентрация лактозы, %	Кислотность	
		Титруемая, °Т	pH		Титруемая, °Т	pH
5,2	3,88	110,3	4,88	3,50	117	4,78
4,5	2,56	99	4,74	2,30	100	4,68
4,0	2,50	77	4,94	2,17	106	4,79
3,5	2,64	73	5,51	2,45	112	4,57
3,0	2,52	70	5,18	2,10	86	4,94

Остаточное количество дисахарида в кисломолочном напитке слабом и в среднем колеблется в пределах от 2,1 до 3,5%, что превышает в 2 – 3 раза рекомендуемую величину для категории низколактозных продуктов [4]. Из данных следует, что для получения безлактозного напитка потребуется более глубокий гидролиз лактозы до 1,5 – 2,0% с использованием β -галактозидазы. Кислотность всех образцов напитка находится в пределах нормы: для слабого до 90 °Т, для среднего до 130 °Т.

Наряду с кислотностью важным признаком напитка являются его органолептические характеристики, в формировании которых принимают участие все микроорганизмы кефирного гриба. Изменение углеводного состава молока, а именно появление в нем свободных моносахаридов глюкозы, галактозы в результате ферментативного гидролиза β -галактозидазой провоцирует активность отдельных представителей грибной микрофлоры, что повлечет за собой трансформацию вкуса и состояния ствужка. На рисунке 3 приведены результаты дегустации образцов готового напитка на основе молока с разным количеством лактозы.

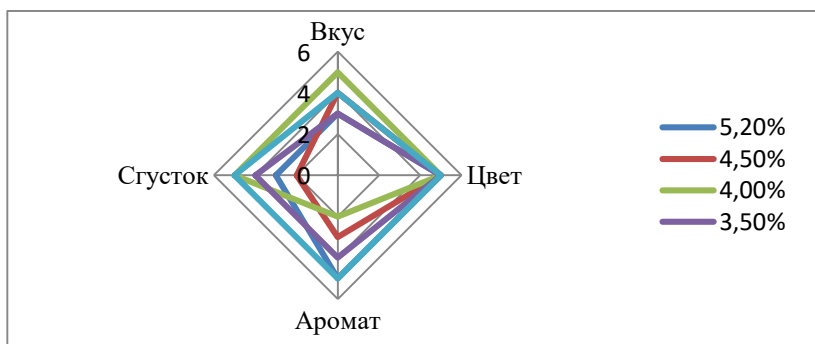


Рис. 3. Органолептическая оценка образцов кисломолочного напитка из ферментированного β -галактозидазой молока

По результатам дегустационного анализа установлено, что при концентрации лактозы в молоке на уровне 5,2% органолептические показатели имеют максимальные значения. Образец напитка из молока с исходной концентрацией лактозы в полтора раза меньше, получил оценки по значениям, незначительно ему уступающим. Таким образом, по вкусовым качествам низколактозные продукты будут иметь спрос не только у специальной группы потребителей, но и у широкой аудитории людей, практикующих здоровое питание.

Список литературы

1. Арсеньева, Т. П. Развитие теоретических основ и разработка технологий низколактозных молочных продуктов с регулируемым жирнокислотным составом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т. П. Арсеньева – СПб., 2008. – 20 с.
2. Непереносимость лактозы у детей и взрослых / С. В. Бельмер, Ю. Г. Мухина, А. И. Чубарова, В. П. Гераськина, Т. В. Гасилина. – М. : «Лечащий врач», 2005. – № 1.
3. Формирование потребительских свойств молочных напитков методами биотехнологии / А. С. Великанова, О. В. Зюзина, У. В. Ланцова, А. С. Надеждина // Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, доктора с.-х. наук, профессора Ю. Г. Скрипникова. – Мичуринск-наукоград РФ 2016. – С. 14 – 18.
4. Великанова, А. С. Изучение влияния технологических условий при изготовлении низколактозного кисломолочного напитка / А. С. Великанова, А. И. Бушковская, У. В. Ланцова // Проблемы технологической безопасности и устойчивого развития : сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов. Выпуск VIII. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ» 2016. – С. 91 – 94.

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

*А. А. Нечай, А. В. Медведева**

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАПАЗОНА СЛУХОВОЙ АНОМАЛИИ У СОБАК

Несмотря на активное развитие медицины в области оториноларингологии, а, конкретнее, в сфере проектирования и реализации слуховых аппаратов, полностью игнорируются нужды животных (собак) в технических устройствах, позволяющих бороться с полной, односторонней или частичной глухотой.

В ходе селекции различных пород собак, более чем у ста из них на генетическом уровне развилась предрасположенность к наследственной глухоте, которая проявляется у животных с раннего возраста. Наиболее существенно данной проблеме подвержены такие породы, как бультерьер, английский сеттер, английский коккер-спаниель, далматин и т.д. Процентное соотношение собак с врожденными дефектами слуха у данных пород представлено в табл. 1. Также довольно часто глухота развивается у животных в связи с естественными процессами старения вне зависимости от породы [1].

1. Процентное соотношение собак с нарушением слуха и здоровых особей в породе

Порода	Исследовано собак	Полностью слышат, %	Односторонняя глухота, %	Двусторонняя глухота, %
Далматин	5009	70,2	22	7,8
Бультерьер	573	89	9,9	1,1
Английский сеттер	530	87,5	12,2	2,3
Английский коккер-спаниель	828	92,8	6,2	1

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

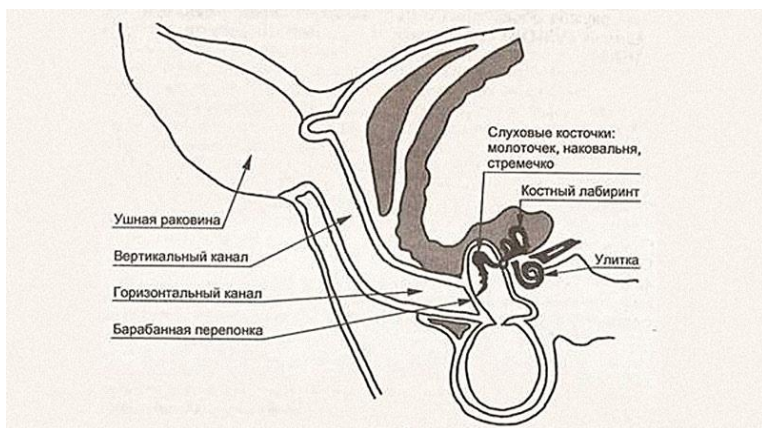


Рис. 1. Строение уха собаки

У людей и собак органы слуха работают по примерно одинаковому принципу: звуковые колебания воспринимаются слуховым анализатором, после чего преобразуются в импульсы, которые передаются в головной мозг по слуховому нерву. Как видно на рис. 1 и 2, строение органа слуха собаки и человека практически идентично. Разница заключается лишь в длине слухового канала, который у собаки существенно длиннее человеческого и в размере барабанной полости. Как следствие, ухо собаки способно воспринимать больший диапазон частот.

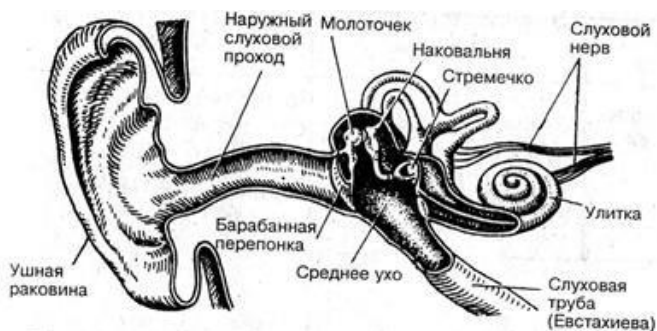


Рис. 2. Строение уха человека

В качестве рецепторов слуха используются опорные и волосковые клетки, которые располагаются во внутреннем ухе, в улитке. Именно они отвечают за восприятие звуковых колебаний. Волосковые

клетки связаны с нервными волокнами и вместе они составляют слуховые нервы, за счет которых осуществляется передача поступающей информации в головной мозг, где и производится ее обработка. Данная обработка заключается в распознавании громкости, высоты, тембра, ритма и продолжительности звуков.

Данный принцип справедлив и для человека, и для собаки. Однако, следует принять во внимание тот факт, что человеческий слух способен воспринимать звуковую информацию в диапазоне от 16 до 20 кГц, в то время как собака воспринимает частоты от 12 Гц, а верхний порог у некоторых пород может достигать 80 кГц. Кроме того, стоит отметить тот факт, что собака обладает более чувствительным к громкости слухом. Так, звуки средней силы (50...60 дБ) она способна уловить на расстоянии в 40...50 метров, в то время как человек их улавливает лишь на 6...10 метрах. [2]

Учитывая особенности слуха собак для определения наличия слуховой аномалии и ее типа необходимо использовать специализированную методику тестирования. Оптимальным вариантом для диагностирования собак является так называемый BAER-test.

В общем случае механизм тестирования сводится к следующему. На голове исследуемого животного подкожным методом закрепляются три электрода (макушка, зоны левого и правого уха), позволяющие считывать наличие или отсутствие ответной реакции мозга на поступающие извне акустические раздражители. Как правило, для этих целей через специальный наушник на каждое ухо отдельно подаются щелчки в частотном диапазоне восприятия уха собаки с амплитудой 60...80 дБ. На основании получаемых с электродов сигналов формируется электроэнцефалограмма, которая при нормальном слухе имеет вид, представленный на рис. 3.

На данной ЭЭГ можно заметить ярко выраженные пики I – VI, каждый из которых отвечает за конкретный участок устройства органа слуха животного вплоть до участка мозга, отвечающего за обработку входящего сигнала.

В случае наличия дефекта слуха и, как следствие, отсутствия реакции, результаты BAER-test будут иметь вид, представленный на рис. 4 [3].

Для разработки слухового аппарата, адаптированного для исправления дефектов слуха у собак, проведение данного тестирования является обязательной процедурой. На основании получаемых электроэнцефалограмм появляется возможность однозначно судить, с какими конкретно частотами у животного возникают проблемы при той или иной амплитуде звука в децибелах.

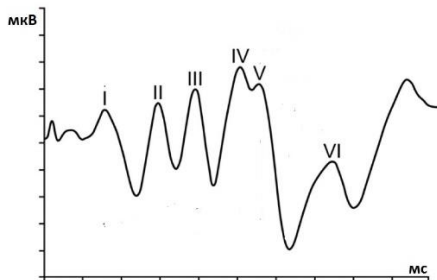


Рис. 3. Электроэнцефалограмма здорового уха

I – слуховой нерв; II – кохлеарное ядро; III – верхний оливарный комплекс;
 IV – латеральная петля; V – нижний колликул;
 VI – медиальное коленчатое ядро

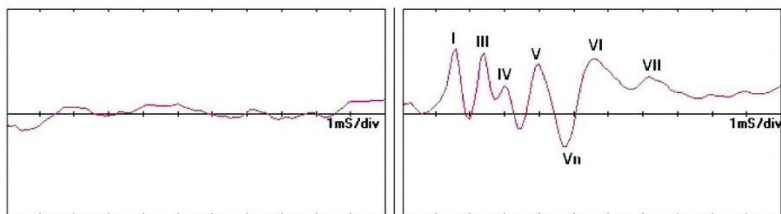


Рис. 4. Электроэнцефалограмма при односторонней глухоте

Разрабатываемый слуховой аппарат, работающий в диапазоне слышимых частот для уха собаки, при помощи точной программной корректировки на основании результатов ВАER-test позволит полностью восстановить слух животного, который был утрачен вследствие генетического отклонения или процессов естественного старения.

Список литературы

1. George M. Strain, Genetics of Deafness in Dogs // School of Veterinary Medicine 2017. – P. 128 – 131.
2. Чуваев И. В. Нормы слуха для здоровых собак различных пород / И. В. Чуваев // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – Вып. 1(45). – 2020. – С. 48 – 53.
3. Чуваев И. В. Количественная оценка остроты слуха у животных при проведении ВАЕР-теста / И. В. Чуваев // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – Вып. 3(31). – 2016. – С. 36 – 40.

Кафедра «Биомедицинская техника» 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 времени 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 заведующего кафедрой «МиИГ», д-ра техн. наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» С. И. Лазарева.



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

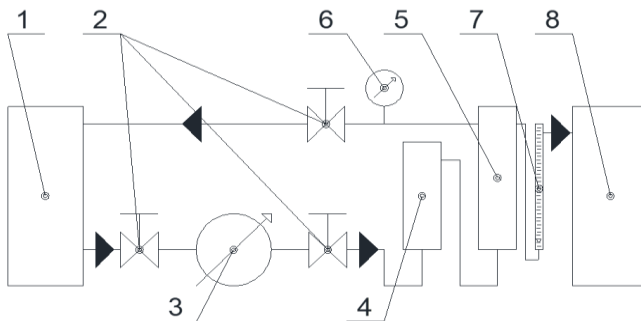


Рис. 2. Схема полупромышленной установки трубчатого типа с внутренним расположением мембран:

1 – исходная емкость; *2* – вентили; *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.

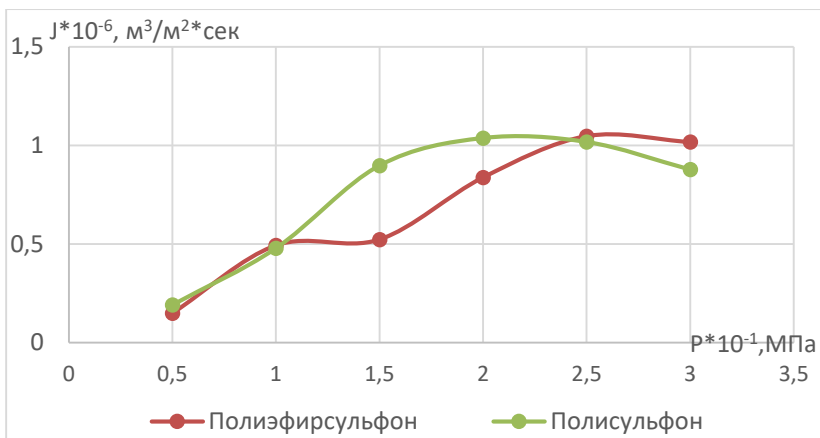


Рис. 3. Зависимости выходного удельного потока (J , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$) от трансмембранного давления для ультрафильтрационных мембран из полиэфирсульфона и полисульфона

Как видно из рис. 1 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, способных задерживать крупные молекулы белка.

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

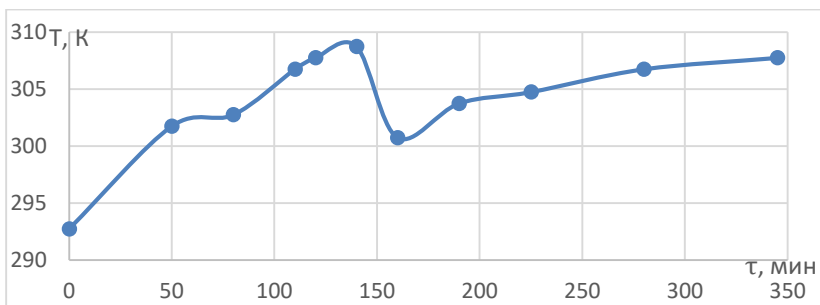


Рис. 4. Зависимости температуры от времени концентрирования молочной сыворотки

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»

*Н. С. Толстошеин, Д. А. Пудовкин, А. Д. Тебякин**

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ

Аннотация: на основании анализа литературных источников создан прототип покрытия на основе полисахаридов, предложена тенденция дальнейшего исследования биоразлагаемых полимеров.

Проблемы экологической безопасности актуальны во всех сферах агропромышленного комплекса и наиболее остро стоит вопрос утилизации отходов полимерной упаковки. Полиэтилен – удобный, практичный, дешевый упаковочный материал, выпускаемый с 1950-х гг. прошлого века. Одновременно, полиэтилен – причина надвигающейся экологической катастрофы, поскольку синтетические полимеры инертны к воздействию факторов окружающей среды и практически не разлагаются в естественных условиях. В этой связи в мире все большее внимание исследователей привлекает задача придания биоразлагаемости синтетическим полимерным системам, которые сохраняли бы свои потребительские свойства в течение срока эксплуатации, а по его истечении подвергались бы при определенных условиях физикохимическим и биохимическим превращениям, ускоренно разрушаясь и разлагаясь на безвредные для природы компоненты. А также актуальным является поиск альтернативных материалов и разработка биоразлагаемых покрытий в качестве альтернативы полиэтилену [1].

Биоразлагаемые полимеры сохраняют эксплуатационные характеристики только в течение периода потребления, а затем претерпевают физико-химические и биологические превращения под действием факторов окружающей среды (света, температуры, влаги, воды) и легко включаются в процессы метаболизма природных биосистем (бактерий, дрожжей, грибов, водорослей). При этом высокомолекулярные вещества разлагаются на низкомолекулярные (вода и углекислый газ), гуминовые вещества и биомассу. Таким образом, совершается естественный круговорот веществ, способный поддерживать экологическое равновесие в природе [2].

Активно ведутся исследовательские работы в области создания биоразлагаемых покрытий. Именно здесь можно ожидать значительных успехов и прорывных решений. Проводятся исследования по сов-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента П. М. Смолихиной.

мещению в растворе и твердой фазе нескольких полимеров, например, полисахаридов и белков, по изучению их совместимости, фазового состояния и специфики взаимодействия [3].

На кафедре «Технологии и оборудование пищевых и химических производств», в ходе исследований по созданию биоразлагаемых покрытий, решали следующие задачи:

- 1) анализ прототипов и выбор сырьевых компонентов;
- 2) разработка вариантов рецептур и режимов изготовления;
- 3) изучение физико-химических и структурно-механических свойств полученных пленок.

Первые изготовленные образцы на основе каррагинана с использованием пищевого глицерина в качестве пластификатора, были протестированы на прочность, эластичность и антибактериальные свойства (рис. 1).

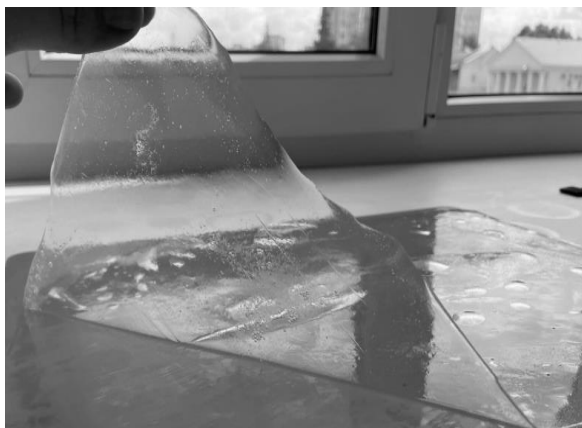


Рис. 1. Биоразлагаемое покрытие на основе каррагинана

Максимальная прочность покрытия на основе каррагинана, толщиной 80...100 мкм, при продольном растяжении 36 МПа, что сравнимо с пленкой из полиэтилена среднего давления с толщиной 40 мкм (рис. 2).

Покрытия из полисахаридов гидрофильны, в их состав можно вводить различные водорастворимые добавки (красители, вкусоароматические и биологически активные вещества), которые прочно связываются с полимером водородными связями, что позволяют получить широкую линейку упаковочных материалов с заданными свойствами для конкретных пищевых продуктов.

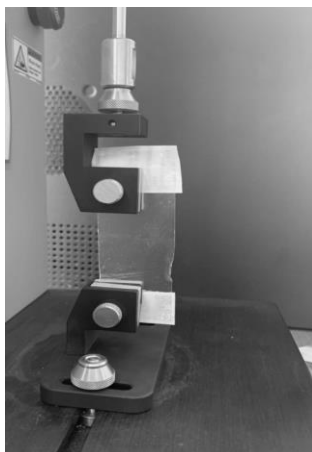


Рис. 2. Анализ съедобного биоразлагаемого покрытия на прочность и эластичность

Полученный прототип биоразлагаемого покрытия, в отличие от полиэтилена, экологичен – разлагается так же, как и органические отходы, служит пищей для микроорганизмов, его можно легко растворить в горячей воде и вылить в канализацию.

В связи с рассмотренными проблемами и первыми полученными результатами планируется разработка технологии биоразлагаемых покрытий с использованием микроорганизмов и/или их продуцентов – как возобновляемого источника сырья, не конкурирующего с продук-

товыми сырьевыми источниками. Необходимы варианты рецептур для получения покрытий с заранее заданными свойствами, в том числе антимикробными.

Безусловно, такие пленки и покрытия обладают высокой стоимостью, однако следует учесть, что экономическая стоимость помимо цены продукта содержит также и затраты по утилизации и использованию. В этом смысле биоразлагаемые полимеры предпочтительнее: возобновляемые ресурсы, необходимые для их производства, более выгодны. Важно также отметить, что высокая цена материала – явление временное, пока производство биополимеров не стало массовым и процесс их выпуска до конца не отлажен [4]. Со временем стоимость биопластиков снизится, и они станут доступными для широкого ряда предприятий.

Список литературы

1. Крутько, Э. Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 04 «Технология пластических масс» / Э. Т. Крутько, Н. Р. Прокопчук, А. И. Глоба. – Минск : БГТУ, 2014. – 105 с.
2. Пакет с пакетами: Как в Европе отказываются от пластика. The Village: официальный сайт. – 2021. – URL : <https://www.the-village.ru/city/abroad/350241-plastik-no> (дата обращения: 16.06.2021). – Текст: электронный.
3. Директива ЕС 2019/904 Е ЕС от 5 июня 2019 г о сокращении влияния некоторых пластиковых продуктов на окружающую среду. ЭкоПорт: официальный сайт. – 2021. – URL : <http://ecoportus.ru/node/968> (дата обращения: 16.06.2021). – Текст: электронный.
4. Тимирбаева, Г. Р. Биоразлагаемые полимеры: тенденции развития рынка / Г. Р. Тимирбаева // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 9. – С. 724 – 727.

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

*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. 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 tricornerutum*, *Isochrysis sphaerica*. Данные виды обладают высокой липидной продуктивностью, синтезируют преимущественно ненасыщенные жирные кислоты, получаемый из них биодизель имеет высокое цетановое число и относительно низкую температуру помутнения.

* Работа выполнена под руководством заведующего кафедрой «ТОПиХП», д-ра техн. наук, проф. Д. С. Дворецкого.

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

Микроводоросли считаются выгодным субстратом для анаэробного сбраживания благодаря высокой продуктивности биомассы и низкому содержанию золы. При выборе видов водорослей отдают предпочтение штаммам, имеющим тонкие клеточные стенки, что делает их более легко разлагаемыми. 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 он применяется 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 – французской компанией 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*, хлорофилл – *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: бетаины, аминокислоты, витамины и полиамины, стимулирующие 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, увеличивают содержание жирных кислот в полученном мясе, включение *Arthrospira platensis* в корма для домашней птицы способствовало 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. Также 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. Также 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. Dvoretzky, D. 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. Mulders, K. J. M. 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. Dvoretzky, D. 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»

*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, основ питательных 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 незаменимых 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 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

* Работа выполнена под руководством заведующего кафедрой «ГОПиХП», д-ра техн. наук, проф. Д. С. Дворецкого.

экстрагента на биомассу (влажность 99,8...99,9%), сконцентрированной из 200 мл суспензии. Определение концентрации белка в экстракте осуществлялось спектрофотометрическим методом [3]. Определение содержания аминокислот ВСАА осуществлялось фотоколориметрическим методом с использованием 1% спиртового раствора нингидрина и 2 мл 0,05% 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 сутки 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

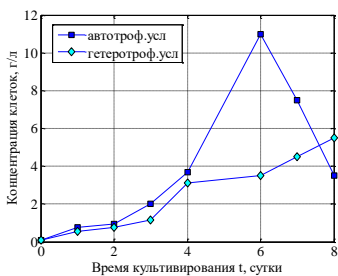


Рис. 1. Динамика роста клеток штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*)

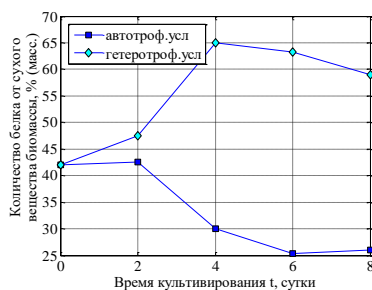


Рис. 2. Динамика накопления белков в клетках биомассы штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*)

веществ (углеводов и липидов) требует дополнительных затрат энергии, поэтому скорость размножения и концентрация клеток ниже.

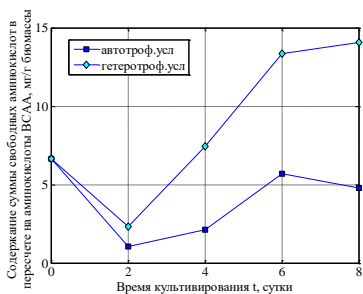


Рис. 3. Динамика накопления аминокислот ВСАА в клетках биомассы штамма *Chlorella kessleri* Fott et Nov C-9 (*Parachlorella kessleri*)

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.

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



Рис. 4. Схема биосинтеза аминокислот

соединение является предшественником аминокислот ВСАА (лейцина, валина и изолейцина) [5].

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).

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. Дворецкий, Д. С. Технология получения липидов из микроводорослей: монография [Текст] / 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. Ярыгина Т. И. 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»

*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 развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал с целью 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

* Работа выполнена под руководством заведующего кафедрой «ТОПиХП», д-ра техн. наук, проф. Д. С. Дворецкого.

числе и пищевых. В 1960 – 1970-е годы 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 для соевого белка. Питательная ценность 1 кг биомассы хлореллы в целом равно-

значна 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 вводится в рацион питания человека.

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 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

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, 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%.

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 показывал 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, No. 2: e0118985.

2. Dvoretzky D. et. al. Research into the Influence of Cultivation Conditions on the Fatty Acid Composition of Lipids of Chlorella Vulgaris Microalgae. «CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS». 2020. Vol.79. – P. 31 – 36. DOI: 10.3303/CET2079006.

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

*Я. В. Устинская, М. А. Еськова, К. И. Меронюк, В. С. Темнова**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ КЛЕТОК УЛЬТРАЗВУКОМ НА ПРОЦЕСС ЭКСТРАКЦИИ ВНУТРИКЛЕТОЧНОГО БЕЛКА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Клетки микроводорослей являются перспективным источником белка, который, помимо пищевой ценности, проявляет многочисленные биологические свойства: антиоксидантные, бактериостатические, антигипертензивные, иммуномодулирующие и противовоспалительные [1]. Белки клеток микроводорослей могут составлять до 42 – 58% сухой биомассы клетки, из которых около 20% входят в состав клеточной стенки, 50% – ферменты, а оставшиеся 30% секретируются во внеклеточную среду [2].

Сложность извлечения белков из клеток микроводорослей заключается в том, что большинство видов микроводорослей обладают жесткими клеточными стенками [3], которые препятствуют экстракции белка. Клеточные стенки микроводорослей могут сильно различаться по строению, но чаще всего содержат следующие полимеры: целлюлоза, гемицеллюлоза (ксилоглюкан, маннаны, глюкуроан, (1 → 3) -β-глюкан), хитиноподобный пептидогликан и ульван [3].

Поиску путей повышения энергоэффективности процесса извлечения ценных компонентов из клеток уделяется большое внимание, поскольку на его долю приходится до 40...60% от общей себестоимости конечного продукта. Одним из наиболее перспективных методов дезинтеграции клеток микроводорослей является воздействие ультразвука. Применение этого метода позволяет увеличить выход извлечения целевого внутриклеточного продукта в 2–3 раза [4].

В связи с этим, целью исследования было определение закономерностей влияния режимов дезинтеграции ультразвуком клеток микроводоросли штамма *Chlorella vulgaris Beijer IPPAS C-1 (Chlorella sorokiniana)*, полученного в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, на выход экстракции внутриклеточного белка.

Культивирование штамма микроводорослей осуществлялось в фотобиореакторах объемом 2 л в течение 8 суток на питательной среде Tamiya, которая вносилась на первые и четвертые сутки, в авто-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «ТОПиХП» ФГБОУ ВО «ГГТУ» М. С. Темнова.

трофных условиях при уровне фотосинтетически активной радиации 150 мкмоль фотонов/(м²·с)), количество вносимого посевного материала, отобранного на стационарной стадии роста, составляло 10% от общего объема суспензии, температура культивирования составляла 30±3 °С, уровень рН изменялся в диапазоне 6,2...8,0, аэрация суспензии (180 л/(л·ч)) осуществлялась газовой смесью с содержанием диоксида углерода 0,03%. Количество клеток в полученной суспензии составляло 40 млн кл/мл.

Подсчет клеток в суспензии осуществлялся методом прямого подсчета в камере Горяева.

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). Полученная биомасса влажностью 98...99% делилась на образцы объемом 25 мл. Дезинтеграцию клеток микроводорослей осуществляли с использованием следующего метода (табл. 1): обработка клеток ультразвуком (дезинтегратор Scientz IID) с частотой 25 кГц, мощностью 50, 100 или 150 Вт в течение 1, 3 или 5 мин (1, 3 или 5 циклов обработки).

Отрицательным контролем была биомасса микроводорослей, используемая для экстракции водорастворимых внутриклеточных белков, без предварительной дезинтеграции.

1. Параметры дезинтеграции клеток ультразвуком

Режим	Время обработки ультразвуком τ_u (x1), мин	Мощность ультразвука P_u (x2), Вт	Воздействие ультразвука/пауза (x3), с/с
1	5	150	5/1
2	5	50	5/1
3	1	150	5/1
4	1	50	5/1
5	5	150	1/1
6	5	50	1/1
7	1	150	1/1
8	1	50	1/1
9	3	100	3/1

Экстракцию белков из биомассы микроводорослей проводили в течение 24 часов при температуре 37 °С с использованием в качестве растворителя фосфатного буфера (рН 7,2-7,4), взятого в количестве 25 мл. После экстракции биомасса клеток отделялась от экстракта

с использованием центрифуги *IKA mini G* (в течение 10 минут при 6000 об/мин).

Содержание белка в экстракте определяли с использованием спектрофотометрического метода и с использованием генетического анализатора *Maxlife Personal Gene Analyzer H 100*. Для расчетов использовалась среднее значение концентраций, полученных с использованием двух методик.

Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

2. Результаты эксперимента по дезинтеграции клеток ультразвуком

Режим	τ_u (x1), мин	P_u (x2), Вт	Воздействие ультразвука/пауза (x3), с/с	Выход белка Pr, % (масс.)
1	5	150	5/1	11,4
2	5	50	5/1	8,2
3	1	150	5/1	6,2
4	1	50	5/1	2,2
5	5	150	1/1	3,4
6	5	50	1/1	2,9
7	1	150	1/1	1,1
8	1	50	1/1	1,0
9	3	100	3/1	1,3
Отриц. контроль	–	–	–	1,1

Воздействие ультразвука (частотой 25 кГц и мощностью 50 – 150 Вт в течение 1 – 5 мин (1 – 5 повторов обработки)) на клетки микроводорослей *Chlorella sorokiniana* привело к значительному увеличению выхода водорастворимых белков от 1,2 раза до 10,4 раза, в зависимости от режима обработки суспензии (табл. 2), по сравнению с отрицательным контролем (биомасса с целыми клетками микроводорослей). Наиболее перспективным режимом, увеличивающим выход водорастворимого белка до 11,4% (масс.), является режим № 1: воздействие ультразвуком мощностью 150 Вт в течение 5 минут (время воздействия/пауза – 5:1). Значительное увеличение выхода водорастворимого белка объясняется тем, что ультразвуковое воздействие оказывает комплексное воздействие на клетки биомассы микроводорослей:

- 1) способствует механическому разделению скоплений клеток;
- 2) приводит к нарушению работы мембранных каналов, которые меняют свою проводимость, что вызывает изменение осмотического давления и разрыв клеточных стенок;
- 3) вызывает отрыв макромолекул и молекулярных комплексов с внешней поверхности цитоплазматической мембраны и клеточной стенки из-за возникающих на границе клетка–внешняя среда кавитационных эффектов.

Результаты экспериментального исследования показывают, что, по-видимому, реальное содержание белка в клетках микроводорослей значительно ниже, чем описано в большинстве исследований [1, 2]. Это можно объяснить тем, что большинство данных о концентрациях белков микроводорослей получено с применением гидролиза биомассы водорослей и оценки общего азота; таким образом, помимо белка учитывались другие компоненты микроводорослей, также содержащие азот (нуклеиновые кислоты, амины и др.).

Проведенное экспериментальное исследование позволяет сделать вывод о том, что применение ультразвуковых установок позволяет в значительной степени увеличить выход водорастворимых белков (до 10,4 раза) при их извлечении из клеток микроводорослей штамма *Chlorella vulgaris* Beijer IPPAS C-1 (*Chlorella sorokiniana*), обладающего жесткой клеточной стенкой.

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

Список литературы

1. Sedighi, M. Enzymatic Hydrolysis of Microalgae Proteins Using Serine Proteases: a Study to Characterize Kinetic Parameters / M. Sedighi, H. Jalili, M. Darvish, et al. // Food. Chem. 284 (2019). – 334 – 339.
2. Alam, M. A. Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products / M. A. Alam, J.-L. Xu, Z. Wang // Springer Nature Singapore. – 2020. – 483 p.
3. Dixon, C. Green Microalgae Biomolecule Separations and Recovery / C. Dixon, L. R. Wilken // Bioresour. Bioprocess. 5 (2018). – 24 p.
4. Lee, A. K. Disruption of Microalgal Cells for the Extraction of Lipids for Biofuels: Processes and Specific Energy Requirements / A. K. Lee, D. M. Lewis, P. J. Ashman // Biomass Bioenergy. 46 (2012). 89 – 101.

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

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 667-12:543.421/.424

*Д. П. Ростова, Н. С. Бакунин**

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАКА КРАСНОГО ЖБ

Качество готового продукта – главное в производстве. Оно зависит от технологических параметров и качества сырья.

При анализе пигментов на качество рассматривают такие характеристики как: тон, колористическую концентрацию, грансостав и т.д.

Примеси могут существенно влиять на качество готового пигмента, и определить их наличие и концентрацию не всегда является тривиальной задачей.

В данной работе будет рассмотрено влияние примесей в сырье и побочных продуктов синтеза на тон лака красного ЖБ.

Для описания колористических характеристик существует несколько цветовых пространств:

- CIE XYZ
- RGB
- HSI
- CIE L*a*b
- CIE L*c*h

Более удобными для человеческого восприятия и анализа являются модели, которые построены не на цветах, а на других характеристиках излучения, как например цветовой тон, насыщенность и светлота. Мы остановимся на CIE L*c*h.

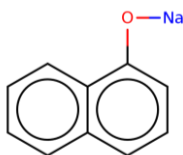
Характеристики модели CIE L*c*h будем рассчитывать методами молекулярного моделирования на уровне теории TDDFT/PBE0/сс-рVTZ через энергии электронных переходов [1.].

На основании химизма процесса и паспортов на сырье были определены все возможные примеси в лаке красном ЖБ [1.]. Те примеси, что не влияют на цвет продукта не учитывались, остальные представлены в табл. 1.

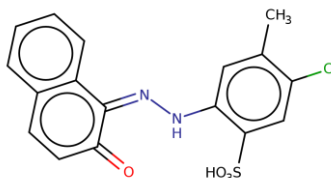
* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. А. Дегтярева.

1. Примеси в конечном продукте

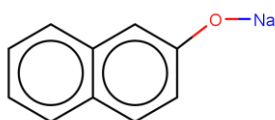
α -нафталят натрия



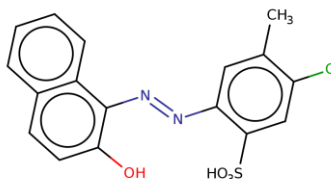
5-хлор-2-[(2-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфонокислота



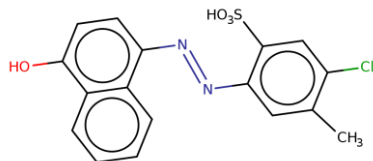
β -нафталят натрия



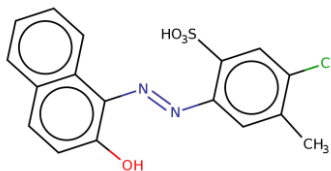
5-хлор-2-[(2-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфонокислота (конформер 1)

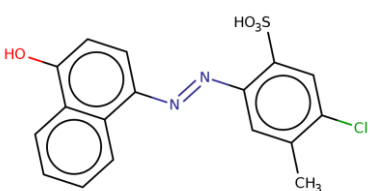
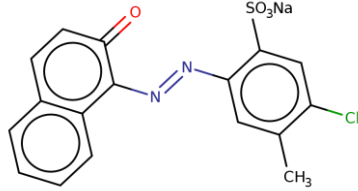
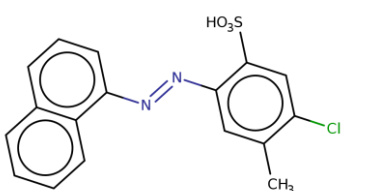
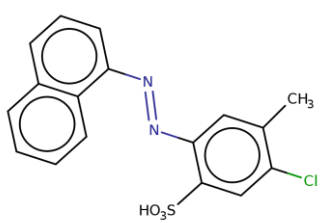


5-хлор-2-[(4-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфонокислота (конформер 1)



5-хлор-2-[(2-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфонокислота (конформер 2)



<p>5-хлор-2-[(4-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфокислота (конформер 2)</p> 	<p>5-хлор-2-[(2-окси-1,2-дигидро-нафтален)-1-гидразо]-4-метилбензолсульфонат натрия</p> 
<p>5-хлор-2-нафтилазо-4-метилбензолсульфокислота (конформер 1)</p> 	<p>5-хлор-2-нафтилазо-4-метилбензолсульфокислота (конформер 2)</p> 

С помощью программного обеспечения рассчитываем сначала координаты модели RGB, а далее переводим их в значения для Lch.

В таблице 2 представлены значения параметров Lch для каждого соединения.

2. Параметры Lch

Соединение	L	C	H
α -нафталят натрия	99,98	0,23	121,07
β -нафталят натрия	99,87	0,56	186,95
5-хлор-2-[(2-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфокислота	96,54	96,99	104,81
5-хлор-2-[(2-окси-1,2-дигидро-нафтален)-1-гидразо]-4-метилбензолсульфонат натрия	96,13	95,78	101,86

5-хлор-2-[(2-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфокислота (конформер 1)	89,74	83,28	94,65
5-хлор-2-[(2-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфокислота (конформер 2)	66,80	85,71	59,53
5-хлор-2-[(4-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфокислота (конформер 1)	90,89	66,59	95,32
5-хлор-2-[(4-гидрокси-1-нафтил)азо]-4-метилбензолсульфокислота (конформер 2)	96,90	96,92	103,62
5-хлор-2-нафтилазо-4-метилбензолсульфокислота (конформер 1)	94,79	94,35	100,51
5-хлор-2-нафтилазо-4-метилбензолсульфокислота (конформер 2)	90,93	76,15	95,93

Анализировать результаты будем по тону. Будет прослеживаться зависимость: при увеличении значения координаты Н цвет смещается в желтую область спектра, при уменьшении – смещается в пурпурную область.

Для всех соединений, интенсивность цвета (параметр С) которых значительно выше 0, параметр Н относится к желтой или желто-зеленой области спектра.

Для исходного лака красного ЖБ параметр Н равен 34. На основании этого можно сказать, что при наличии данных примесей в концентрациях отличных от следовых, будет наблюдаться смещение исходного тона в желтую область.

Список литературы

1. Химия синтетических красителей. Т. 3 / под ред. К. Венкатарамана. – Л. : Химия, 1974. – 464 с.
2. Лаптев, Н. Г. Химия красителей / Н. Г. Лаптев, Б. М. Богословский. – М. : Химия, 1970. – 424 с.

*Г. В. Рыбин**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ВАКУУМ-ИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ

В данный момент в нашей стране активно реализуется государственная политика в области здорового питания населения Российской Федерации. В связи с этим увеличивается спрос на фрукты и овощи, а также продукты их переработки, поскольку в них содержится большое количество биологически активных веществ (БАВ) и функциональных компонентов.

Одним из наиболее динамично развивающихся направлений переработки растительной продукции является экстрагирование, т.е. процесс, в котором вещество извлекается при помощи растворителя (экстрагента), который практически не смешивается с исходной смесью. Наиболее распространенные экстрагенты – это дистиллированная вода и спирты. Разные растворители позволяют извлекать разные биологически активные вещества, следовательно, существует необходимость в их грамотном подборе исходя из тех веществ, которые необходимо получить.

Экстрагирование имеет широкую область применения, так как экстракты применяются во многих отраслях пищевой, парфюмерной, фармацевтической промышленности в первую очередь как средство обогащения конечного продукта полезными веществами, а также для замены синтетических компонентов растительными аналогами, которые легко усваиваются человеком.

Также на основе экстрактов растительного сырья можно производить биологически активные добавки (БАД). На данный момент рынок таких добавок занят в основном иностранными компаниями, в связи с чем цена на БАД довольно высокая. Если производить их из растительного сырья, произрастающего в нашем регионе, можно получить такие добавки по цене, которая будет серьезно меньше зарубежных аналогов, а также производить уникальные добавки, которые пока не представлены на рынке.

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

Наиболее выгодным является экстрагирование с применением вакуум-импульсным экстрагирования [1], в котором растительный материал, находящийся в загрузочной камере, сначала подвергают импульсному воздействию, путем периодической подачи вакуума, благодаря чему раскрываются поры и происходит равномерное распределение материала по загрузочной камере. Затем заливают подогретым экстрагентом и в течение 30 – 40 минут производят экстрагирование под вакуумом.

При данной технологии переработка растительного сырья осуществляется при низких температурных режимах (30 – 60 °С), благодаря чему удастся исключить разложение термонеустойчивых компонентов. Применение вакуума позволяет ускорить процесс получения экстрактов в несколько раз (в эксперименте установлено, что для вакуумного экстрагирования достаточно 30 мин для извлечения большинства полезных веществ из сырья), в частности наиболее труднодоступных, поскольку под вакуумом происходит низкотемпературное кипение экстрагента. В результате происходит вскипание растворителя в порах материала, а образующийся пар выталкивает насыщенный целевым компонентом экстрагент.

Для проведения экспериментальных исследований на базе кафедры «МИГ» ФГБОУ ВО «ТГТУ» создан прототип промышленного горизонтального смесительного-отстойного экстрактора. Данный тип установки был выбран, поскольку он, при сравнительно небольших размерах, может перерабатывать большие объемы жидкости. Установка состоит из следующих конструктивных элементов: электродвигатель, жидкостнокольцевой вакуумный насос, дистиллятор, выпариватель, емкость для сбора экстрагента, емкость для экстрагирующего вещества и автоматика. Отличительные преимущества разработанной установки: 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.

Для удобства работы была усовершенствована конструкция загрузочного устройства. Оно состоит из корпуса, в середине которого закреплена стойка с резьбой. На этой стойке при помощи гаек крепятся два перфорированных диска, между которыми и размещается экстрагируемый материал. Сверху устройство закрывается крышкой с уплотнениями для поддержания вакуума.

Для создания вакуума в установке используется двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос (ЖВН) с последовательным включением ступеней. Такой насос обладает рядом неоспоримых пре-

имуществ, таких как: возможность откачивать газы, содержащие пары, капельную жидкость и инородные включения, отсутствие загрязнения откачиваемого газа парами масла, простота, надежность и низкий уровень шума. Поэтому он является наиболее подходящим для применения в экстракционной установке.

Поскольку при нагреве рабочей жидкости в ЖВН будет падать его производительность предлагается использовать систему рециркуляции рабочей жидкости с ее охлаждением. Такая система будет состоять из теплового аккумулятора [2], который будет повышать энергоэффективность установки посредством отбора тепла у рабочей жидкости, чиллера, который будет обеспечивать высокою производительность ЖВН и остаточное охлаждение жидкости и насоса для обеспечения рециркуляции рабочей жидкости.

При проведении экспериментов установлено, что основными параметрами, влияющими на процесс экстрагирования, являются: качество выбранного растительного сырья, клеточное строение материала, остаточная влажность (при использовании высушенного сырья), температурный режим, величина вакуума, вид используемого экстрагента, гидромодуль (соотношение: сырье – экстрагент), продолжительность процесса.

Для наиболее качественного высушивания материала предлагается использовать двухступенчатую конвективную вакуум-импульсную сушилку (ДКВИС) [3]. В ней сушка происходит на щадящих режимах, что способствует сохранению максимального количества биологически активных веществ. Также благодаря наличию двух ступеней происходит равномерное удаление жидкости из-за того, что происходит смена режимов, на которых удаляется поверхностная и внутренняя влага.

Также большое влияние на процесс экстрагирования окажет качество и способ измельчения растительного материала, поскольку если его фрагменты после измельчения будут либо слишком крупными, либо слишком мелкими растворитель не сможет в полной мере взаимодействовать со всем растительным материалом, вследствие чего извлечение биологически активных веществ будет неполным.

Рассмотрим на примере яблочного экстракта 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, т.е. за день мы будем получать прибыль в размере 24 000 руб. В таком случае установка окупится за 21 день.

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;
- высокая рентабельность производства.

Список литературы

1. Универсальная экстрактно-выпарная установка растительного сырья / А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, Д. В. Никитин, С. А. Анохин, В. В. Коновалов // Наука в центральной России. – 2017. – № 2(26). – С. 32 – 41.

2. Применение тепловых аккумуляторов для создания энергоэффективных систем переработки АПК / А. В. Щегольков, А. И. Дьяконов, Ю. В. Родионов, А. С. Зорин // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья : материалы I Всероссийской конференции с международным участием. – 2019. – С. 103 – 110.

3. Технологическая линия по производству экстрактов из растительного сырья / А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, С. А. Анохин, И. А. Елизаров, В. Н. Назаров, Д. В. Никитин // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 2. – С. 82 – 85.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

1. *Евдокимов А. С.* РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДЕПОНИРОВАННЫХ КЛЮЧЕЙ ШИФРОВАНИЯ 3
2. *Горбачёв А. А.* ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ ПО ФОТОГРАФИЯМ ЛИСТЬЕВ 8
3. *Завражнев Н. С., Евдокимов А. С., Рудь И. Р.* ИЗВЛЕЧЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИ ЗНАЧИМОЙ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ АУДИО- И ВИДЕОФАЙЛОВ НА ОСНОВЕ ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С УЧЁТОМ НЕЧЁТКИХ КОЛЛОКАЦИЙ 12
4. *Патутин К. И.* РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ЖЕСТОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 17

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

5. *Бондаренко Н. В., Татаринцев И. В.* ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКА В МАШИНОСТРОЕНИИ 21
6. *Иванчей Ю. С., Скоморохова А. И.* МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ИЗДЕЛИЙ 24
7. *Истомин А. М.* РАЗРАБОТКА ПЛАСТИЧНОЙ КАЛЬЦИЕВОЙ СМАЗКИ, НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ 28

8. *Кузнецова Т. С., Бураков А. Е., Пасько Т. В., Буракова И. В., Сухарева Я. И.* КОМПОЗИТНЫЕ ГРАФЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ПОЛЛЮТАНТОВ ОРГАНИЧЕСКОЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ 32
9. *Лутовинова Т. А., Чуприкова А. А., Фунбаю М. А., Фижбах Т. В.* ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ 36
10. *Мкртчян Э. С., Курносоев Д. А., Буракова И. В., Бураков А. Е., Ананьева О. А.* КОМПОЗИЦИОННЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИТОЗАНОМ, ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СИСТЕМ ОТ ТОКСИЧНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ 40
11. *Пудовкин А. П., Rogovцова Я. А.* ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ БИОЭТАНОЛА И БИОДИЗЕЛЯ 44
12. *Rogovцова Я. А., Пудовкин А. П.* ИНДУСТРИЯ 4.0. ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ 48
13. *Сенин В. В.* ВИДЫ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ 52
14. *Скоморохова А. И., Алексенцев Д. С.* КОНЦЕПЦИЯ ПИЩЕВОГО 3D-ПРИНТЕРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 56
15. *Смирнов А. Д.* ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЯХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА 60
16. *Татаринцев И. В., Бондаренко Н. В.* ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ 64

17. *Фижбах Т. В., Фунбаю М. А., Чуприкова А. А., Лутовинова Т. А.* АДАПТАЦИЯ УСТАРЕВШЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РТИ ПОД СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА 67
18. *Фунбаю М. А., Фижбах Т. В., Чуприкова А. А., Лутовинова Т. А.* ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА НА ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ 71
19. *Чуприкова А. А., Лутовинова Т. А., Фунбаю М. А., Фижбах Т. В.* ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЧ-ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕР-УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА Ф-4 75

БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

20. *Венцеровна Н. В.* РАЗРАБОТКА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ФАНТОМОВ ДЛЯ НУЖД ОПТИЧЕСКИХ ТОМОГРАФОВ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СКАНЕРОВ 79
21. *Кононенко А. Е., Петерс Т. В.* НАПРАВЛЕННАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ МОЛОКА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ЛАКТОЗНОЙ ИНТОЛЕРАНТНОСТЬЮ 83
22. *Нечай А. А., Медведева А. В.* МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАПАЗОНА СЛУХОВОЙ АНОМАЛИИ У СОБАК 88
23. *Родионов Д. А.* УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ 92
24. *Толстошеин Н. С., Пудовкин Д. А., Тебякин А. Д.* БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ... 96

25. *Еськова М. А., Устинская Я. В., Брянкина А. К., Протопопов И. А., Шишков Е. И., Темнов М. С.* ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 100
26. *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 104
27. *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 108
28. *Устинская Я. В., Еськова М. А., Меронюк К. И., Темнова В. С.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ КЛЕТОК УЛЬТРАЗВУКОМ НА ПРОЦЕСС ЭКСТРАКЦИИ ВНУТРИКЛЕТОЧНОГО БЕЛКА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ 112

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ

29. *Ростова Д. П., Бакунин Н. С.* ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАКА КРАСНОГО ЖБ 116
30. *Рыбин Г. В.* РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ВАКУУМ-ИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ 120

Научное электронное издание

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Сборник научных статей
молодых ученых, аспирантов и студентов

Выпуск XIII

Редактирование Е. С. Мордасовой
Инженер по компьютерному макетированию И. В. Евсеева

ISBN 978-5-8265-2412-1



Подписано к использованию 24.11.2021.
Тираж 50 шт. Заказ № 127

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru

