

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. КОСЫГИНА  
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»

**Всероссийская научная конференция  
молодых исследователей  
с международным участием  
«Инновационное развитие техники  
и технологий в промышленности  
(ИНТЕКС-2022)»**

**18-20 АПРЕЛЯ 2022 г.**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
Часть 4**



УНИВЕРСИТЕТ  
КОСЫГИНА

МОСКВА - 2022

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А.Н. КОСЫГИНА  
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»**

**Всероссийская научная конференция  
молодых исследователей  
с международным участием  
«Инновационное развитие техники и  
технологий в промышленности  
(ИНТЕКС-2022)»**

**18-20 АПРЕЛЯ 2022 г.**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
Часть 4**

**МОСКВА - 2022**

УДК 378:001.895

ББК 74.58:72

В 85

**В85**                   Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 4. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2022. – 217 с.

ISBN 978-5-00181-255-5

Сборник составлен по материалам направления 5 «Современные технологии автоматизации: цифровизация и роботизация технологических процессов и производств» и направления 6 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы и системы защиты техносферы» Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022)», состоявшейся 18-20 апреля 2022 г. в Российском государственном университете им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 378:001.895

ББК 74.58:72

#### **Редакционная коллегия**

Силаков А.В., проректор по науке и инновациям; Оленева О.С., доцент;  
Гуторова Н.В., начальник ОНИР; Андросова И.В., старший преподаватель;  
Бузькевич А.О., инженер

#### **Научное издание**

**ISBN 978-5-00181-255-5**

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2022

© Коллектив авторов, 2022

УДК 629.7.04

## **ВЫБОР МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ЯДРА АЛГОРИТМА АВТОКОМПОНОВКИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ В ОТСЕКАХ**

Беляков А.А.

Научный руководитель Шулепов А.И.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева», Самара*

С развитием систем автоматизированного проектирования у инженеров расширяются возможности по разработке и модернизации новых изделий, а также повышается производительность труда, что благотворно сказывается на протекании технологических и бизнес-процессов внутри предприятий. Это достигается в основном за счёт применения принципа параметризации, согласно которому связи между различными параметрами изделий задаются в виде уравнений с неравенствами-ограничениями. В то же время эта тенденция до сих пор слабо коснулась конструирования узлов, так как данный процесс зачастую содержит требования разной физической природы и реализует решение по методикам эвристического характера.

Собственно, в космическом машиностроении это проявляется, например, при разработке компоновок отсеков космических аппаратов (КА) на стадиях формирования проектного облика и проработки при подготовке последующей рабочей конструкторской документации. Вопросы создания алгоритмов автоматизированного размещения бортовой аппаратуры (БА) исследуются несколькими научными коллективами [1, 2], однако в практике производства были использованы лишь программные комплексы, построенные на методах последовательно-одиночного размещения, регуляризации, полного перебора, случайного поиска, последовательных приближений [3, 4]. Они имеют ряд технических допущений и склонны морально устаревать в отсутствие своевременных обновлений математического и программного обеспечения.

В рамках данной статьи рассматривается авторский матрично-топологический метод размещения БА в отсеке КА, который учитывает все основные группы технических требований к компоновке. В частности, сама модель в нынешнем виде требует некоего развития, чтобы быть полностью программируемой. Поэтому основная задача состоит в том, чтобы оценить, какой из способов построения ядра метода является более эффективным. В качестве основного инструмента моделирования используется топология. Геометрические модели БА традиционно описываются прямоугольными параллелепипедами.

Целью алгоритмов размещения является нахождение координат положения объектов в ограниченном пространстве с учётом ограничений.

Пусть требуется разместить в цилиндрическом отсеке комплект БА, состоящий из девяти приборов различных систем. Их соответствие техническим требованиям описывается специальной матрицей:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В матрице технических требований (1) строки соответствуют приборам, а столбцы – группам требований по порядку: функциональным, габаритным, монтажным, тепловым, виброударно-акустическим, массово-центровочным, эргономическим.

Функциональная взаимосвязь между приборами задана матрицей смежности в следующем виде:

$$V = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Тогда соответствующая матрице функциональной взаимосвязи (2) может быть построена матрица инцидентности:

$$W = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Фактически матрица (3) описывает габаритную взаимосвязь между приборами, показывая, расстояния между какими из них должны быть минимальными, чтобы компоновка обладала высокой плотностью. Итого существует, как минимум, одиннадцать уравнений в данном примере.

Из анализа матриц (1) и (3) следует, к каким изделиям можно применить метод комплексирования, то есть объединить эту БА в блоки, что можно также описать матрицей:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В данном случае в матрице монтажной взаимосвязи (4) отражено, что в блок объединены приборы №2, №3, №4.

Кроме того, благодаря методу комплексирования, возможно сразу записать некоторые из координатных уравнений для приборов с помощью метода монтажных увязок, причём габаритное требование на непересечение моделей БА, монтажное требование на соблюдение зазоров и виброударно-акустическое требование на обеспечение допусков контролируется уравнением кривой Пеано, которая обладает свойством плотно компоновать объекты:

$$\begin{pmatrix} \Pi_x \\ \Pi_y \\ \Pi_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{x3} + \max\{l_{x2}; l_{x4}\} + \max\{h_m; h_e\} \\ l_{y2} + l_{y3} + \max\{h_m; h_e\} \\ l_{z4} + \max\{l_{z2}; l_{z3}\} + \max\{h_m; h_e\} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где  $(l_x; l_y; l_z)$  – длины рёбер оснований соответствующих приборов по осям;  $h_m; h_e$  – монтажный зазор и виброударно-акустический допуск.

Из анализа формул (1), (5) следует, что прибор №2 нужно установить на откидную стенку корпуса отсека для обеспечения доступа, а прибор №3 наоборот не должен воспринимать виброударно-акустические нагрузки от конструкции отсека. К прибору №4 не было предъявлено дополнительных требований. Тогда уравнения по методу монтажных увязок имеют вид (по аналогии сюда можно добавить уравнение для прибора №9):

$$\begin{cases} y_2 = R - \frac{l_{y2}}{2} - h_m \\ y_3 = y_2 - \frac{l_{y2} + l_{y3}}{2} - \max\{h_m; h_e\} \\ y_4 = \frac{y_2 + y_3}{2} \\ y_9 = R - \frac{l_{y9}}{2} - h_m \end{cases}, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус основания цилиндрического отсека КА.

Система (6) должна быть дополнена уравнениями ещё для двух осей, чтобы однозначно определять точки размещения БА.

Дальнейшая реализация процедуры размещения может идти двумя путями: первый предполагает построение координатного дерева в отсеке, а второй – применение кривой Пеано в области допустимых значений отклонения центра масс отсека КА от исходного значения. Надо выяснить, какой из вариантов эффективнее по критерию минимума этого отклонения.

Координатное дерево представляет собой множество векторов, чьи концы направлены в точки размещения БА, в то время как начало они могут брать из центра базовой системы координат или из центра масс некоторого прибора в зависимости от метода, заложенного в вычислительный алгоритм. Так как ранее был задействован метод монтажных увязок, то предлагается продолжить его применение. Массы БА были взяты по статистике [5].

Сначала в точку исходного центра масс отсека размещается прибор №1, как в самое удалённое от корпуса место для удовлетворения тепловым и виброударно-акустическим требованиям. Затем блок приборов №2, №3, №4 устанавливается по продольной оси КА ближе к началу базовой системы координат. Далее по максимальному расстоянию до этого блока и по минимальному расстоянию до прибора №1 определяется точка установки прибора №5. Потом с учётом центровки, минимума расстояния до прибора №4 и виброударно-акустических требований размещается прибор №9. После него по минимуму расстояния, центровки и с соблюдением допуска на виброударно-акустическую нагрузку размещается прибор №8. Таким же образом находится точка размещения прибора №7. Оставшийся прибор №6 размещается на взаимно минимальных расстояниях до приборов №3 и №7, но при этом его положение корректируется для центровки отсека. Такая компоновка БА и её пространственный граф представлены на Рис.1а.

Во втором варианте моделирование происходит не в пространстве всего отсека, а в области допустимых значений отклонения его центра масс. Практически это значит, что надо найти так называемый эллипсоид инерции отсека, чтобы определить положения его осей симметрии, то есть главных осей инерции компоновки, которые надо совместить с геометрическими осями отсека. Для построения эллипсоида инерции через точку центра масс отсека для приборов строятся вектора допустимых отклонений, которые по модулю равны [6]:

$$\delta_i = \frac{1}{\sqrt{J_{xx i}}}, \quad (7)$$

где  $i$  – порядковый номер прибора;  $J_{xx i}$  – осевой момент инерции прибора относительно продольной оси базовой системы координат КА.

Затем с помощью генератора случайных чисел задаются направления этих векторов. Зная эти четыре параметра, можно рассчитать для каждого прибора координаты точки размещения, последовательно приравнивая статические моменты к нулю, – в такой линейной системе число уравнений равно утроенному количеству БА. Углы пространственной ориентации уже задаются по месту конструктором на твердотельной модели, либо их тоже можно найти, составив соответствующие системы, но к данной работе этот вопрос имеет второстепенное отношение. В таком варианте ядро алгоритма должно согласовывать результат с техническими требованиями, то есть путём варьирования случайной величины искать решение задачи линейного программирования, удовлетворяющее её ограничениям. Здесь кривая Пеано должна определять диапазон расстояний между векторами (7). Результат операции представлен на рис. 1б. Векторов всего шесть, потому что для прибора №1 он равен нулю по модулю, а для приборов №2, №3, №4 был объединён в блок с общим центром масс ранее.

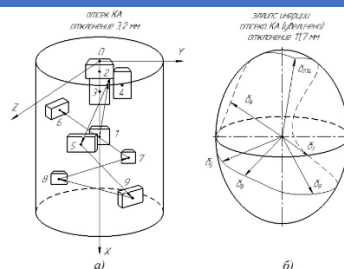


Рисунок 1 – Варианты графического отображения процесса работы ядра матрично-топологического метода размещения БА в отсеке КА: а) вариант по центрам масс; б) вариант по отклонениям центра масс

Из полученных решений следует, что второй вариант является менее точным по критерию минимума отклонения центра масс отсека, что может привести к перетяжелению конструкции балансировочными грузами. Этот способ концептуально прост в плане своей математической и программной реализации, однако заложенный в него аналитический метод расчёта точек не учитывает всего спектра технических требований, из-за чего приходится согласовывать их выполнение дополнительно и многократно варьировать направления векторов (7).

Напротив, первый вариант ядра оказался более эффективным и при этом более производительным, потому что концептуально построен на методе монтажных увязок и напрямую учитывает технические требования, однако его программная реализация обладает высокой трудоёмкостью, поскольку требуется разработать оператор, способный решать систему из матрично-топологических уравнений, форма и количество которых будет меняться от одного КА к другому.

Таким образом, рекомендуется строить программное ядро матрично-топологического метода автоматизированного размещения БА на основе метода монтажных увязок по центрам масс приборов. Это предполагается сделать при дальнейших исследованиях.

#### **Список использованных источников:**

1. Маркин Л.В. Дискретные модели геометрического моделирования компоновок авиационной техники / Л.В. Маркин, Г.В. Корн, М.Х. Куи и др. // Труды МАИ. – 2016. – № 86. – С. 1-35.

2. Ягудин Р.Р. Решение задачи оптимизации упаковки многогранников в параллелепипедную область на основе построения годографа вектор-функции плотного размещения // Информатика, телекоммуникации и управление. 2012. №5.

3. Гаврилов В.Н. Автоматизированная компоновка приборных отсеков летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1988. – 137 с.

4. Шулёпов А.И., Гаврилов В.Н., Мятишкин Г.В. Автоматизированное решение задачи размещения грузов на борту транспортных космических систем // Вестник СГАУ. 2003. №1.



5. Основы проектирования космических аппаратов оптико-электронного наблюдения поверхности Земли. Расчёт основных характеристик и формирование проектного облика : учеб. пособие / В.И. Куренков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 461 с. : ил. ISBN 978-5-7883-1572-0.

6. Технология сборки и испытаний космических аппаратов : Учебник для высших технических учебных заведений / И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов и др.; Под общ. ред. И.Т. Белякова и И.А. Зернова. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с. : ил. ISBN 5-217-01045-2.

© Беляков А.А., 2022

УДК 681.5.08

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СМЕСИ С ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕМ

Бойчук.И.И., Власенко О.М.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Объектом исследования является система обогрева дыхательной смеси в спецодежде для глубоководных спусков с автоматическим регулированием температуры [1]. Была разработана экспериментальная установка для моделирования и исследования автоматической системы регулирования, которая содержит устройство нагрева воды (УНВ), теплообменник – водонагреватель дыхательной смеси (ВДС), небольшой насос для циркуляции воды через теплообменник, а также устройства для организации потока воздуха: компрессор, регулируемый клапан. Для определения динамических свойств АСР температуры были установлены датчики температуры на входе и выходе теплообменника, а также в устройстве нагрева воды [2].

Для выбора оптимального закона регулирования и настроек регулятора, обеспечивающих требуемое качество поддержания температуры смеси, необходимо провести аналитическое моделирование системы, определить математические модели, исследовать динамические свойства АСР. Результаты математического моделирования будут проверены на экспериментальной установке.

Мощность питания, которая подается на электронагреватель емкости с водой расходуется на нагрев воды, которая поступает из теплообменника в устройство нагрева воды с температурой  $\theta_{v1}$  и изменение температуры электрического нагревателя  $\theta_{nv}$ :  $Q_{pit} = Q_{ak} + Q_{nv}$  (1), где  $Q_{pit}$  – мощность

питания, получаемая от температуры электрического нагревателя, Вт;  $Q_{ak}$  – мощность, аккумулирующаяся температурой электрического нагревателя при изменении его температуры, Вт:  $Q_{ak} = c_{nv} \cdot \rho_{nv} \cdot V_{nv} \frac{d\theta_{nv}}{dt}$  (2), где  $c_{nv}$  – удельная теплоемкость, Дж/кг·К,  $\rho_{nv}$  – плотность, кг/м<sup>3</sup> и  $V_{nv}$  – объем электрического нагревателя, м<sup>3</sup>;  $\theta_{nv}$  – температура на поверхности температуры электрического нагревателя, К;  $Q_{nv}$  – мощность, передаваемая от температуры электрического нагревателя к воде, Вт:

$Q_{nv} = S_{mv} \cdot \alpha_{mv} (\theta_{nv} - \theta_{v1})$  (3), где  $S_{mv}$  – площадь передачи тепла от температуры электрического нагревателя к воде, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{mv}$  – коэффициент отдаваемого тепла от температуры электрического нагревателя к воде, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\theta_{v1}$  – температура воды, которая поступает из теплообменника, К.

Полученные выражения для мощностей (2) и (3) подставим в уравнение теплового баланса устройства нагрева воды (1), и при его преобразовании, получим дифференциальное уравнение:

$T_{nv} \frac{d\theta_{nv}}{dt} + \theta_{nv} = k_{nv} \cdot Q_{pit} + \theta_{v1}$  (4), где  $k_{nv}$  – коэффициент усиления температуры электрического нагревателя, К/Вт;  $T_{nv}$  – постоянная времени температуры электрического нагревателя, с:

$k_{nv} = 1/S_{mv} \cdot \alpha_{mv}$  (5),  $T_{nv} = c_{nv} \cdot \rho_{nv} \cdot V_{nv} / S_{mv} \cdot \alpha_{mv}$  (6).

С учетом начальных условий, передаточная функция УНВ примет вид  $W_{nv}(p) = \frac{k_{nv}}{T_{nv} \cdot p + 1}$  (7).

Мощность нагревателя воды  $Q_{nv}$  расходуется на изменение температуры воды  $\theta_{v2}$  в УНВ? на нагрев потока воды, от температуры  $\theta_{v1}$  до  $\theta_{v2}$ ; на потери тепла через корпус УНВ и стенки соединительной трубки.

Уравнение теплового баланса воды выглядит следующим образом:  $Q_{nv} = Q_{av} + Q_{pot} + Q_2$  (8).

Мощность, затрачиваемая на изменение температуры воды:

$Q_{av} = m_v c_v \frac{d\theta_{v2}}{dt}$  (9), где  $m_v$  – масса воды в УНВ, кг;  $c_v$  – удельная теплоемкость воды, Дж/кг·К.

Мощность, затрачиваемая на нагрев потока воды:

$Q_2 = c_v \rho_v V_v (\theta_{v1} - \theta_{v2})$  (10), где  $\rho_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $V_v$  – объемный расход воды через УНВ и соединительную трубку, м<sup>3</sup>.

Потери через корпус УНВ и через стенки соединительной трубки:

$Q_{pot} = \left( \frac{S_1}{R_1} + \frac{S_2}{R_2} \right) (\theta_{v2} - \theta_{os})$  (11), где  $S_1$ ,  $S_2$  – средние площади теплопередачи, м<sup>2</sup>;  $R_1$ ,  $R_2$  – суммарные термические сопротивления, м<sup>2</sup>·К/Вт соответственно для корпуса УНВ и стенки соединительной трубки;  $\theta_{os}$  – температура окружающей среды, К.

Подставляя выражения для мощностей (9)-(11) в уравнение теплового баланса (8), и проведя преобразования, получим дифференциальное уравнение:

$T_v \frac{d\theta_{v2}}{dt} + \theta_{v2} = k_v \theta_{nv} + k_{v1} \theta_{v1} + k_{pot} \theta_{os}$  (12), где  $T_v$  – постоянная времени воды, с;  $k_v$  – коэффициент передачи воды;  $k_{v1}$  – коэффициент передачи воды по каналу вход  $\theta_{v1}$  выход  $\theta_{v2}$ ,  $k_{pot}$  – коэффициент передачи теплотерь через корпус УНВ и стенки соединительной трубки.

Как показали расчеты для температуры теплоносителя – горячей воды:  $\theta_v = (50; 60; 70; 80)^\circ\text{C}$ , коэффициент теплотерь (в формуле 11) составил: (0.625; 0.643; 0.657; 0.669). В дальнейших расчетах температура входной воды и температура окружающей среды принимаются постоянными, и в динамической модели не учитываются. Таким образом, передаточная функция воды имеет вид:  $W_v(p) = \frac{k_{nv}}{T_{nv} \cdot p + 1}$  (13).

Тепловая мощность воды  $Q_{v2}$ , приносимая в теплообменник, расходуется на нагрев стенок трубок теплообменника  $Q_{ast}$  и на нагрев дыхательной смеси  $Q_g$ :  $Q_{v2} = Q_{ast} + Q_g$  (14),  $Q_{ast} = c_{st} \rho_{st} m_{st} \frac{d\theta_{st}}{dt}$  (15), где  $c_{st}$  – удельная теплоемкость стенки трубки, Дж/кг·К;  $\rho_{st}$  – плотность стенки трубки, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{st}$  – суммарный объем стенок трубок теплообменника, м<sup>3</sup>.

Мощность, расходуемая на нагрев дыхательной смеси:  $Q_g = S_g \alpha_g (\theta_{st} - \theta_g)$  (16), где  $S_g$  – площадь теплопередачи от стенки трубки к дыхательной смеси, м<sup>2</sup>;  $\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к дыхательной смеси, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\theta_{st}$  – температура стенки трубки теплообменника, К;  $\theta_g$  – средняя температура дыхательной смеси, К.

С учетом выражений (14), (15) и (16), проведя ряд преобразований, уравнение теплового баланса приводится к виду:

$T_{st} \frac{d\theta_{st}}{dt} + \theta_{st} = k_{st} \theta_{v2} + k_{g0} \theta_{g0}$  (17), где  $T_{st}$  – постоянная времени теплообменника, с;  $k_{st}$  – коэффициент передачи теплообменника;  $k_g$  – коэффициент передачи по температуре дыхательной смеси на входе теплообменника  $\theta_{g0}$ :

$$T_{st} = \frac{c_{st} \rho_{st} V_{st}}{S_g \alpha_g + S_{vst} \alpha_{vst}} \quad (18), \quad k_{st} = \frac{S_{vst} \alpha_{vst}}{S_g \alpha_g + S_{vst} \alpha_{vst}} \quad (19), \quad k_{g0} = \frac{S_g \alpha_g}{2(S_g \alpha_g + S_{vst} \alpha_{vst})} \quad (20).$$

С учетом начальных условий и приращений переменных во времени, передаточная функция теплообменника:  $W_{st}(p) = \frac{k_{st}}{T_{st} \cdot p + 1}$  (21).

Мощность, расходуемая на ингаляционный обогрев  $Q_g$  распределяется на мощность аккумулируемую смесью внутри медных трубок ВДС  $Q_{ag}$  и мощностью, которая расходуется на обогрев дыхательной смеси  $Q_{sm}$ :  $Q_g = Q_{ag} + Q_{sm}$  (22),  $Q_{ag} = m_g \cdot c_g \frac{d\theta_g}{dt}$  (23), где  $\theta_g$  – температура дыхательной смеси на выходе теплообменника, К;  $c_g$  – удельная теплоемкость дыхательной смеси, Дж/кг·К;  $m_g$  – масса дыхательной смеси внутри трубок теплообменника, кг:  $m_g = \rho_g \cdot V_{gv}$ ;  $\rho_g$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{gv}$  – суммарный объем дыхательной смеси внутри трубок теплообменника, м<sup>3</sup>.

Мощность требуемая для нагрева дыхательной смеси:

$Q_{sm} = c_g \cdot \rho_g \cdot V_g (\theta_g - \theta_{gvx})$  (24), где  $V_g$  – объемный расход дыхательной смеси через теплообменник, м<sup>3</sup>/с.

С учетом полученных выражений (23) и (24) после преобразований, уравнение теплового баланса (22) получит следующий вид:

$T_g \frac{d\theta_g}{dt} + \theta_g = k_g \theta_{st} + k_{g2} \theta_{gv}$  (25), где  $T_g$  – постоянная времени дыхательной смеси, с;  $k_g$  – коэффициент передачи дыхательной смеси;  $k_{g2}$  – коэффициент передачи по температуре дыхательной смеси на входе теплообменника:

$$T_g = \frac{m_g c_g}{c_g \rho_g V_g + 0.5 S_g \alpha_g} \quad (26), \quad k_g = \frac{S_g \alpha_g}{c_g \rho_g V_g + 0.5 S_g \alpha_g} \quad (27), \quad k_{g2} = \frac{c_g \rho_g V_g - 0.5 S_g \alpha_g}{c_g \rho_g V_g + 0.5 S_g \alpha_g} \quad (28).$$

С учетом начальных условий и приращений переменных во времени, передаточная функция дыхательной смеси:  $W_g(p) = \frac{k_g}{T_g \cdot p + 1}$  (29).

Передаточная функция датчиков температуры воды и смеси соответственно:  $W_{d1}(p) = \frac{1}{0.3p + 1}$ ,  $W_{d2}(p) = \frac{1}{p + 1}$  (30).

На рис. 1 приведена структурная схема АСР температуры дыхательной смеси с параметрами моделей, рассчитанными для глубины 50 м и температуры теплоносителя 70°C.

Автонастройка ПИД-регуляторов в контурах воды и дыхательной смеси проводилась с помощью инструмента Tune внутри блока PID (s) [4]. Коэффициенты подбирались с учетом обеспечения запасов устойчивости по фазе 60 градусов, по модулю не меньше 20, перерегулирование не должно было превышать 20%. Подбор коэффициентов проводился для разных температур теплоносителя и глубины погружения [3]. Логарифмические частотные характеристики для температуры воды 70 и глубины 150 м. приведены на рис 2 и 3, переходной процесс – на рис. 4.

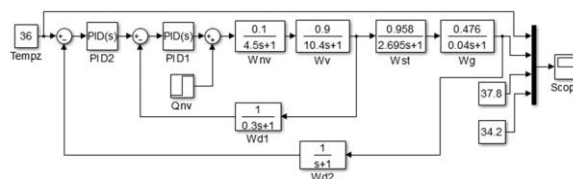


Рисунок 1 – Структурная схема АСР температуры

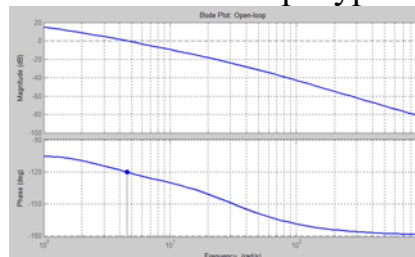


Рисунок 2 – Логарифмическая частотная характеристика ПИД

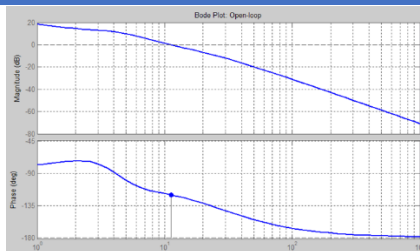


Рисунок 3 – Логарифмическая частотная характеристика ПИД2

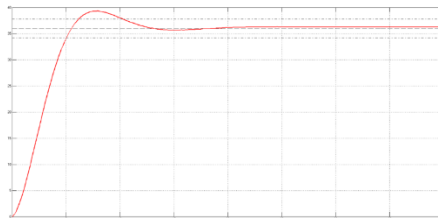


Рисунок 4 – Переходной процесс

Анализируя графики, видим, что запас устойчивости по фазе в контурах воды и смеси составил  $60^\circ$ , перерегулирование процесса 6%, время регулирования 10 секунд. Данные показатели говорят о хорошем качестве регулирования.

Рассчитанные математические модели и показатели качества переходного процесса планируется подтвердить экспериментальными исследованиями.

#### **Список использованных источников:**

1. Власенко О.М. Разработка автоматической системы регулирования температуры дыхательной смеси для обогреваемой спецодежды глубоководных водолазов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/ -М.: МГУДТ. 2009.

2. Разработка программного обеспечения автоматической системы обогрева дыхания. Бойчук И.И. В сборнике: Международный молодежный конкурс научных проектов «Стираем границы». Сборник материалов Международного молодежного конкурса научных проектов. Москва, 2021. С.28-32.

3. Бойчук И.И., Власенко О.М. Проектирование элементов автоматической системы обогрева дыхания //Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники. Москва, 2021. С. 5-10.

4. Bucz S., Kozakova A. Advanced Methods of PID Controller Tuning for Specified Performance. PID Control for Industrial Processes: Books. September, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/62915>

© Бойчук И.И., Власенко О.М., 2022

**УДК 004.942**

## **АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМИ ЛАМПАМИ В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ**

Болабко А.А., Виниченко С.Н.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Большинство патогенных микроорганизмов передается воздушным и воздушно-капельным путем. Особенно остро эта проблема стоит в местах большого скопления людей и крытых плохо вентилируемых помещениях, а также в помещениях с рециркуляцией воздуха. Предотвращение же распространения заболеваний – основная задача процесса обеззараживания воздуха.

Данная работа посвящена разработке системы обеззараживания ультрафиолетовыми лампами в метрополитене. Актуальность поставленной задачи заключается в том, что, реализация системы обеззараживания воздуха в общественном транспорте в любое время позволит проводить дезинфекцию и очищение помещений, тем самым приостанавливая распространение различных вирусов и бактерий.

Существует множество систем очистки и обеззараживания воздуха, и на данный момент времени более широкое распространение получили ультрафиолетовые очистители. При этом следует отметить, что ведущие компании, хотя и создают очищающие лампы, но все они выпускаются поштучно и не имеют связи между собой. Поэтому, разработка автоматической системы очистки воздуха ультрафиолетовыми лампами, а главное встраивание ее в готовую систему метрополитена, позволит не только обеспечить эффективность обеззараживания, но и повысить срок службы, а также оптимизировать затраты на электроэнергию.

Разработанная система включает в себя как ультрафиолетовые лампы, так и элементы контроля. С учетом, что температура непосредственно влияет на ультрафиолетовое излучение, то использования датчиков температуры позволяет осуществить выбор оптимальных настроек подачи напряжения на лампу, а реализация оптимального алгоритма управления разработанной системой позволит повысить срок службы и сэкономить на энергопотреблении. Также для определения наличия или отсутствия людей в вестибюле применяются датчики ультразвука. Данные элементы контроля могут быть расположены как в вестибюле, так и в вагонах поездов. При этом разработанная система легко встраивается в готовую систему управления метрополитена.

Для анализа эффективности управления системой, в программе Matlab были отработаны алгоритмы процессов включения ультрафиолетовых ламп в ночной период времени при отсутствии людей и выключения в дневное время, а также в зависимости от наличия на вестибюле людей.

Инструментом моделирования событий является приложение Stateflow, которое позволяет графически оценить эффективность работы системы. Применяемая диаграмма Chart (рис. 1) включает в себя такие элементы, как конечные автоматы Мура и Мили. В Мили модели действия связывают с переходами, в то время как в Мура они связаны с состояниями. При этом для построения простых событийных систем можно обойтись стандартными средствами if, else, switch case.

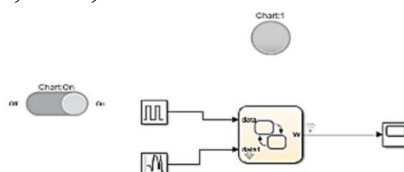


Рисунок 1 – Структурная модель

В созданной системе предусмотрено 4 состояния, каждое из которых имеет своё имя, параметры и функции.

Первое состояние предполагает отключение в дневное время ультрафиолетовых ламп, а также, когда ультразвуковые датчик фиксируют присутствие людей.

Второе состояние наблюдается при работе ультрафиолетовых ламп в ночное время при температуре окружающей среды от 10°C, когда отсутствуют люди.

Третье состояние предполагает работу ультрафиолетовых ламп в ночное время суток при температуре от 5 до 10°C.

Четвертое состояние выполняет включение лампы в ночное время при температуре ниже 0°C.

Для назначения параметров в состояние используется встроенная команда during. During – это встроенная команда в Stateflow предназначена для регистрации значения в состоянии.

В Stateflow имеется возможность поместить состояние в подсостояния. В данном случае подсостояние «On», объединяет состояние второе, третье и четвертое. Это сделано для того, чтобы упростить систему. При моделировании процесса в подсостоянии совершаются переходы между состояниями.

Как видно из рис. 2 три состояния имеют свои параметры работы это 50, 200, 400 Вт. А между состояниями выполняются объявленные условия.

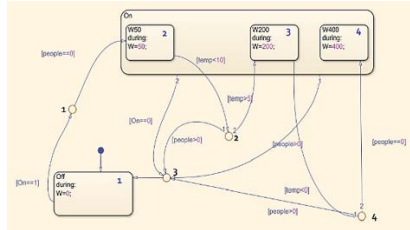


Рисунок 2 – Модель системы обеззараживания ультрафиолетом

Разработанная логика позволяет, безопасно для людей, обеззараживать помещение, увеличивая срок службы устройства и сокращая затраты на электроэнергию.

Эффективность установки с данной логикой составит 99%, т.к. она будет работать с показателем длины волны 254 нанометров, эффективность этого показателя доказан ранее опытным путём.

Как видно из полученного графика нагрузки мощностей в дневное время установка выключена (рис. 3).

Включение установки при температуре свыше 10°C осуществляется на мощности нагрузки 50 Вт, т.е. осуществляется пониженное электропотребление. Увеличение мощности нагрузки свидетельствует о том, что температура уменьшилась и варьируется от 5 до 10°C, при этом эффективность обеззараживания увеличилась.

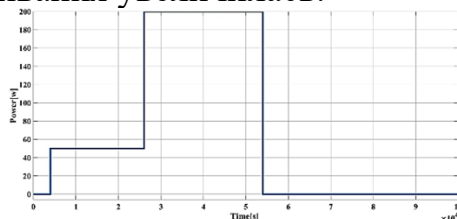


Рисунок 3 – Результаты в Score

Таким образом, в ходе данной работы был разработан алгоритм оптимального режима работы для системы обеззараживания воздуха, использующей минимальные затраты электроэнергии.

#### Список использованных источников:

1. Дьяконов В.П. “Simulink: Самоучитель”. ДМК Пресс. 2015г. Кол-во 784 стр.
2. Colgren R. Basic Matlab, Simulink And Stateflow. AIAA Education Series 2006г. 221 стр.
3. Дьяконов В.П. “Matlab R2006/2007/2008. Simulink 5/6/7. Основы применения”. Солон-пресс. 2010г. Кол-во 776 стр.
4. Ревинская О.Г. “Основы программирования в Matlab”. ВHV. 2016. Кол-во 207 стр..
5. Дьяконов В.П. “MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров”. Солон-пресс. 2010. Кол-во 599 стр.

© Болабко А.А., Виниченко С.Н., 2022



**УДК 332.87: 65.011.56**

## **СТЕКИ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ IOT ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖКХ**

Бутенко А.А., Сопощко Д.Д.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва*

В настоящее время наблюдается тренд на повсеместную автоматизацию. Компании стремятся автоматизировать как можно большую часть своих бизнес-процессов. Для автоматизации рабочих мест используют различные инструменты, такие как автоматизированные системы, искусственный интеллект и интернет вещей.

В данной рассмотрен вопрос принципиального устройства сетей интернета вещей в сфере ЖКХ. Цель работы – изучить стек протоколов, который применяется в интернете вещей для обмена данными между устройствами. Для достижения этой цели будет дано определение интернету вещей, будут проанализированы преимущества, которые дает применение интернета вещей, будет рассмотрен основной продукт интернета вещей в сфере ЖКХ, а также стек сетевых протоколов, которые использует интернет вещей в этой сфере.

Интернетом вещей называют сеть, в которую объединены умные устройства. В этой сети устройства обмениваются данными между собой и выполняют определенные задачи, которые поставлены администратором сети – человеком или искусственным интеллектом.

Интернет вещей считается одной из технологий, которые будут определять будущее человечества. Консалтинговая компания McKinsey & Company прогнозирует, что к 2030 году общая стоимость интернета вещей в мировой экономике составит 12,6 триллиона долларов США [7].

Перечислим основные преимущества, которые может принести использование интернета вещей на предприятии [8]:

позволяет собирать данные, которые ранее могли быть недоступны. Так, встроенные датчики могут контролировать различные показатели оборудования, измерение которых ранее не было возможно;

расширяет возможности экономики совместного пользования, основанной на предоставлении доступа к собственности, такой как жилье, транспорт или производственные мощности [5]. Устройства интернета вещей позволяют полностью автоматизировать процесс управления собственностью, которая находится в совместном использовании;

стандартизированные модели и эталонные протоколы позволяют легко интегрировать устройства интернета вещей в производственную инфраструктуру и позволяют разрабатывать разнообразные сервисы и приложения;

позволяет автоматизировать максимальное количество процессов и узлов производственной цепи, поскольку использование интернета вещей является ключом к эффективной автоматизации и позволяет управлять множеством аспектов производства.

Эти и другие преимущества интернета вещей делают его востребованной на рынке и активно развивающейся технологией. А универсальность интернета вещей позволяет применять его практически в любой сфере экономики.

Сферой, в которой применение интернета вещей является наиболее актуальным, считается сфера жилищно-коммунального хозяйства. Российский рынок автоматизированных систем, основанных на интернете вещей, активно развивается. Уже сейчас на нем действует ряд производителей, которые предоставляют широкие возможности по автоматизации учета услуг ЖКХ и управления ими [1].

Основной продукт интернета вещей – автоматизированные системы коммерческого учета различных показателей ЖКХ: электричества, газа, воды и тепла. Такие системы используют умные счетчики, которые в режиме реального времени передают данные о расходе от потребителя – квартиры или производства – к управляющей компании, которая предоставляет услуги ЖКХ. Это позволяет жильцам не тратить время на сбор показаний счетчиков, а управляющей компании – не сомневаться в правильных расчетах этих показаний. Это связано с тем, что умные счетчики невозможно обмануть общеизвестными методами.

С помощью автоматизированных систем коммерческого учета показателей ЖКХ управляющая компания может не только следить за потреблением ресурсов своими пользователями, но также управлять им. Например, можно через рабочее окно системы отключить электроэнергию в квартире, жильцы которой давно ее не оплачивали.

Кроме того, автоматизированные системы коммерческого учета облегчают процесс сбора и анализа данных, а также позволяют автоматизировать бухгалтерию. Бухгалтеру достаточно выгрузить данные в корпоративную систему бухгалтерского учета, чтобы заполнить все декларации.

Автоматизированные системы коммерческого учета работают как система умных счетчиков, объединенных в общую сеть. Счетчик собирает показания потребления со своего участка и передает их на сервер. Каждый счетчик является самостоятельным устройством, при этом все эти устройства работают в общей системе.

Рассмотрим стек протоколов, которые используются для обмена данными между умными устройствами интернета вещей, которые используются в сфере ЖКХ. Интернет вещей работает в существующих сетях ТСР/IP. Это значит, что устройства интернета вещей могут

использовать стандартные протоколы, по которым соединяются все прочие устройства глобальной и локальных сетей.

Отличие сферы ЖКХ состоит в том, что устройства – счетчики – обмениваются небольшим количеством информации: достаточно один раз в день передать, сколько кубометров воды использовали жильцы данной квартиры. Счетчикам не нужна постоянная передача больших объемов информации, поэтому при выборе протоколов предпочтение отдается более надежным и экономным протоколам с небольшой мощностью.

TCP/IP использует четырехуровневую модель, на каждом уровне которой используется свой набор протоколов. Рассмотрим уровни TCP/IP и определим, какие протоколы использует интернет вещей в сфере ЖКХ на каждом из них.

На канальном уровне устройства интернета вещей могут использовать классические протоколы Ethernet, Wi-Fi, GSM и LTE. Однако для устройств в сфере ЖКХ такие протоколы не подходят по причине своей энергоемкости. Кроме того, объем данных, передаваемых этими протоколами, может оказаться избыточным. Большая часть умных счетчиков российского производства использует протокол LoRaWan на канальном уровне [4].

Этот протокол работает в разрешенных на территории России частотах, а также поддерживает работу на низких мощностях и является достаточно энергоэффективным. LoRaWan – открытый стандарт, устройства и документация которого находятся в свободном доступе. Другое важное преимущества протокола – достаточно большой радиус действия.

На сетевом и транспортном уровнях устройства интернета вещей используют классические протоколы: IPv4 и IPv6 для сетевого уровня, а также TCP и UDP для транспортного. Отличие состоит в том, что если в стандартных сетях и для классических устройств наиболее популярны протоколы IPv4 и TCP, то в устройствах интернета вещей более востребованы IPv6 и UDP.

Преимущество IPv6 состоит в том, что ему доступно большее количество адресов [6]. Поскольку интернет вещей подразумевает использование большого количества устройств, ему требуется также большое количество доступных адресов. В сфере ЖКХ эта проблема также весьма заметна, поскольку для одной квартиры потребуется не менее 5 счетчиков: два для учета потребления воды, по одному для электричества, газа и тепла.

UDP более предпочтителен для интернета вещей, поскольку позволяет передавать данные без установления соединения, что делает его более энергоэффективным и быстрым [10].

Наиболее уникальный набор протоколов наблюдается на прикладном уровне. Разработаны специфические протоколы, которые максимально эффективны именно в сфере интернета вещей: MQTT, AMQP, CoAP, DDS, XMPP, JMS и другие [2]. При этом в интернете вещей могут использоваться и стандартные протоколы, такие как HTTP и FTP.

Стандартом в сетях интернета вещей стал протокол MQTT. По сравнению с HTTP он более быстрый и энергоэффективный. Кроме этого, этот протокол позволяет установить связь «один ко многим» в отличие от HTTP, который устанавливает связь «один к одному».

Таким образом, можно заключить, что, хотя в целом устройства интернета вещей поддерживают стандартные протоколы обмена сообщениями, на практике производители предпочитают использовать иные протоколы – более специфические, разработанные специально для нужд и по параметрам интернета вещей. ЖКХ является одной из основных сфер применения устройств интернета вещей, поэтому здесь все возможности технологии применяются одними из первых – и их отличие от классических технологий обмена данными наиболее заметно.

В работе был рассмотрен стек протоколов, используемый при построении сетей интернета вещей. Было дано определение интернета вещей, проанализированы преимущества его использования. Было рассмотрено основное решение на рынке интернета вещей в сфере ЖКХ и проанализированы протоколы, на которых основано это решение. Все поставленные задачи были выполнены, цель работы достигнута.

#### **Список использованных источников:**

1. Бутенко А.А., Кузеева А.Р. Обзор отечественного рынка устройств интернета вещей для ЖКХ // XV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всероссийской научной конференции (Вологда, 23 ноября 2021 г.) : в 3 т. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Вологодский государственный университет; [главный редактор А. А. Сеницын]. – Вологда : ВоГУ, 2021. – Т. 1. – 478 с.

2. Кушнир Е. Протоколы интернета вещей: как обмениваются данными IoT-устройства, серверы и пользовательские приложения [Электронный ресурс] / Завтра облачно. – 2020. – Режим доступа: <https://mcs.mail.ru/blog/protokoly-interneta-veschey> (дата обращения: 16.03.2022).

3. Попов А.А. Разработка модели информационного пространства при использовании устройств Интернета вещей для управления организацией в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Инновации и инвестиции. 2019. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-informatsionnogo-prostranstva-pri-ispolzovanii-ustroystv-interneta-veschey-dlya-upravleniya-organizatsiy-v-sfere> (дата обращения: 16.03.2022).

4. Что такое LoRaWan [Электронный ресурс] / Хабр. – 2017. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/nag/blog/371067/> (дата обращения: 15.03.2022).

5. Чулок А.А. «Ты – мне, я – тебе». Александр Чулок отвечает на семь вопросов об экономике шеринга [Электронный ресурс] / НИУ ВШЭ. – 2019. – Режим доступа: <https://issek.hse.ru/news/320114872.html> (дата обращения: 10.03.2022).

6. Beginners Guide To The MQTT Protocol? [Электронный ресурс] / Steves. – 2021. – Режим доступа: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt/> (дата обращения: 15.03.2022).

7. Chui M., Collins M., Patel M., IoT value set to accelerate through 2030: Where and how to capture it [Электронный ресурс] / McKinsey. – 2021. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/iot-value-set-to-accelerate-through-2030-where-and-how-to-capture-it> (дата обращения: 10.03.2022).

8. Industrial Internet of Things - IoT [Электронный ресурс] / TADVISER. – 2022. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82\\_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9) (дата обращения: 11.03.2022).

9. IPv6 Explained for Beginners [Электронный ресурс] / Steves. – 2020. – Режим доступа: <http://www.steves-internet-guide.com/ipv6-guide/> (дата обращения: 15.03.2022).

10. TCP vs UDP - What's The Difference? [Электронный ресурс] / Steves. – 2018. – Режим доступа: <http://www.steves-internet-guide.com/tcp-vs-udp/> (дата обращения: 15.03.2022).

© Бутенко А.А., Сопоцько Д.Д., 2022

УДК 658.512.4

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЦЕХА ШВЕЙНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Вершинина И.В., Виргуш А.В., Гребнева Ю.С., Никитенок С.А.  
*Новосибирский технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Новосибирск*

В начале 2022 года с рынка одежды Российской Федерации ушли крупнейшие конгломераты и известные по всему миру бренды одежды. Такая ситуация привела к повышенному спросу и интересу населения к одежде отечественного производства. В крайне нестабильное для российской экономики время проблемы проектирования новых швейных предприятий и реконструкции действующих предприятий являются достаточно актуальными. Так только в г. Новосибирске насчитывается около 500 швейных предприятий различной мощности. Часто такие предприятия создаются интуитивно, без важнейших расчетов и продуманной организации бизнес-процессов. Это приводит к проблемам при работе таких предприятий.

При проектировании швейного предприятия необходимо произвести расчеты экспериментального, подготовительного, раскройного, швейного цехов, а также склада хранения готовой продукции. Проектирование или реконструкция швейного предприятия является трудоемким и сложным, но легко формализуемым процессом.

Авторами разработана система автоматизированного расчета подготовительного цеха швейного предприятия. Также ранее разработанная система предварительного расчета преобразована и дополнена элементами пользовательского интерфейса (рис. 1).



Рисунок 1 – Экранная форма листа «Главная страница»

Предварительный расчет является первым этапом при расчете площадей швейного предприятия. Затем производится расчет цехов и складов предприятия. Этот этап начинается с расчета экспериментального цеха. На следующей стадии проектирования осуществляется расчет подготовительного цеха (ПЦ). Программа расчета проектируемого предприятия реализована в среде Microsoft Excel. Автоматизированы расчеты следующих отделений: распаковочное, разбраковочное, склад

хранения разбракованных материалов, подсортировочное, отделение расчетчиков кусков материалов и обмеловочное отделение (рис. 2) [1].

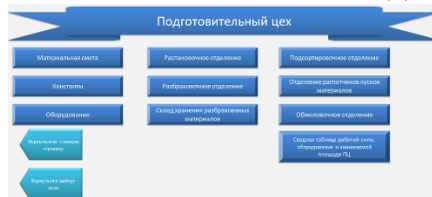


Рисунок 2 – Экранная форма листа «ПЦ»

Расчет подготовительного цеха швейного предприятия основан на использовании взаимосвязи ячеек и отдельных листов в одном файле. Так при изменении значений листов «Материальная смета», «Оборудование», «Константы» производится автоматический пересчет во всех связанных ячейках. При выполнении проекта инженер-проектировщик перемещается между отдельными листами книги MS Excel посредством кнопок – графических объектов с назначенными гиперссылками. На странице «ПЦ» находится интерактивный список этапов процесса проектирования подготовительного цеха.

Лист «Распаковочное отделение» содержит формулу для автоматического расчета площади распаковочного отделения, а также содержит кнопки навигации, благодаря которым можно посмотреть подробный расчет площадей. В зависимости от выбора способа хранения распакованных и нераспакованных материалов (на напольных стеллажах, в штабелях; на поддонах; на поддонах в ячейках стеллажа) ведется расчет соответствующих площадей, также учтена площадь хранения тары и упаковки. Автоматически рассчитывается количество приемщиков и распаковщиков материалов, а также площадь, занимаемая ими.

Лист «Разбраковочное отделение» содержит таблицу с основными показателями (площадь хранения материалов на поддонах, производительность и расчетное количество браковочно-промерочного оборудования, занимаемая ими площадь, общая площадь разбраковочного отделения). Расчет полностью автоматизирован и выполняется в зависимости от исходных данных, представленных на листах «Материальная смета» и «Оборудование», а также постоянных величин, представленных на листе «Константы». Если необходимо посмотреть подробные расчеты, на листе присутствует гиперссылка с переходом на соответствующий лист.

Лист «Склад хранения разбракованных материалов» содержит выбор способа хранения с помощью переключателя (на поддонах, устанавливаемых в ячейки стеллажей, на стеллажах ячеечного типа, на стеллажах полочного типа, в элеваторах люлечного типа). Для расчета площади склада хранения используются данные о материалах, взятые автоматически из листов «Материальная смета», «Константы», «Оборудование», также для наглядности представлены габариты поддона

или стеллажа, количество секций. При замене значения любого параметра, показатели автоматически пересчитываются (рис. 3).



Рисунок 3 – Экранная форма листа «Склад хранения разбракованных материалов»

Лист «Подсортировочное отделение» предназначен для расчета операции подбора кусков материалов в настил. Площадь отделения состоит из площади, занимаемой подсортировщиками и площади для хранения подсортированных материалов (на напольных стеллажах или в тележках). Лист содержит формулы для автоматического расчета количества исполнителей и площади хранения материалов.

Лист «Отделение расчётчиков кусков материалов» реализует определение количества расчётчиков и конфекционеров по стандартным формулам, а также площади, занимаемой ими.

Лист «Обмеловочное отделение» включает в себя расчёт площади, которая зависит от площади столов для выполнения обмеловок и площади кронштейна для хранения лекал. Для того чтобы рассчитать площадь, занимаемую столами, необходимо рассчитать количество обмеловщиков. Для этого на листе представлена таблица «Нормы времени на изготовление обмеловки», в которой присутствуют все необходимые данные для расчёта количества рабочих. Обмеловочное отделение может отсутствовать на площади подготовительного цеха в том случае, если обмеловки выполняются на участке раскроя материалов или в экспериментальном цехе установлена САПР.

Все формулы для расчета являются стандартными, принятыми в отрасли легкой промышленности, поэтому проектировщик при расчете может быть уверен в правильности полученных результатов. На каждом этапе проектировщик также выбирает подъемно-транспортные устройства, необходимые для осуществления производственного процесса подготовительного цеха, пользуясь переходом на лист «Оборудование».

На листе «Сводная таблица» представлена сводная таблица рабочей силы, оборудования и занимаемой площади, которая заполняется автоматически в зависимости от выбранного оборудования и способов хранения материалов на каждом участке.

В настоящее время помимо предварительного расчета предприятия программа включает в себя автоматизированный расчет экспериментального и подготовительного цеха. В дальнейшем предполагается автоматизировать расчет раскройного и швейного цехов, а также осуществить комплексный подход к решению технологических задач (нормирование времени операций, нормирование расхода материалов,



расчет серий и т.д.). Преимущество использование среды MS Excel заключается в том, что для решения поставленных задач достаточно компетенции технолога швейного производства, привлечение программиста не требуется.

Тестовое испытание программы было продолжено при проведении лабораторных работ по дисциплине «Проектирование малых предприятий» по направлению обучения бакалавров 29.03.01 «Технология изделий легкой промышленности» и показало хорошие результаты.

Разработанная программа существенно ускорит расчёт проектируемого предприятия и избавит проектировщика от рутинной работы, оставляя возможность принятия решений.

#### **Список использованных источников:**

1. Мокеева Н.С., Проектирование швейных предприятий (традиционная организация технологического процесса): учебное пособие / под ред. д-ра техн. наук, проф. Н.С. Мокеевой. – Саратов: Изд-во «Академия управления», 2018. – 187 с.

2. Вершинина, И.В. Методика автоматизированной экспресс-реконструкции швейного предприятия /И.В. Вершинина, М.В. Волкова, И.Т. Кононова // Перспективное развитие науки, техники и технологий. материалы II-ой Международной научно-практической конференции: в 2 т.. Ответственный редактор: А. А. Горохов. 2012. – С. 96-98.

3. Вершинина, И.В. Автоматизация процесса предварительного расчета швейного предприятия / И.В. Вершинина, А.П. Голошубова, Е.В. Еремеева, Е.В. Ширкина // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 3. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. – С. 69-73.

© Вершинина И.В., Виргуш А.В.,  
Гребнева Ю.С., Никитенок С.А., 2022

**УДК 004.896**

## **ОБЗОР НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ АЛГОРИТМОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ**

Власов С.Л., Захаркина С.В.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В работе представлены некоторые основные вероятностные алгоритмы мобильной локализации. Все эти алгоритмы являются вариантами базового байесовского фильтра. Рассмотрены преимущества и

недостатки каждого представления и связанного с ним алгоритма.

Локализация мобильного робота – это задача определения положения робота относительно заданной карты окружающей среды. Такую задачу часто называют оценкой положения или отслеживанием положения [1]. Локализация мобильного робота является основной проблемой восприятия в робототехнике. Это связано с тем, что почти все задачи робототехники требуют знания местоположения роботов и объектов, которыми они манипулируют (хотя и не обязательно на глобальной карте).

Локализация может рассматриваться как проблема преобразования координат. Карты описываются в глобальной системе координат, которая не зависит от позиции робота. Локализация – это процесс установления соответствия между системой координат карты и локальной системой координат робота. Знание этого преобразования координат позволяет роботу определять местоположение интересующих его объектов в пределах его собственной системы координат, что является необходимой предпосылкой для навигации робота.

К сожалению, именно в этом заключается проблема локализации мобильного робота, позиция которого обычно не может быть воспринята напрямую. Иными словами, большинство роботов не имеют (бесшумного) датчика для измерения позиции. Поэтому позиция должна быть выведена из данных [3]. Основная трудность возникает из-за того, что одного измерения датчика обычно недостаточно для определения позиции. Вместо этого робот должен интегрировать данные с течением времени (в том числе меняя позицию по мере возможности), чтобы определить свое положение.

Не все проблемы локализации одинаково сложны. Чтобы понять сложность проблемы локализации, приведем краткую классификацию проблем локализации. Эта таксономия разделит проблемы локализации по ряду важных аспектов, относящихся к природе окружающей среды и исходным знаниям, которыми может обладать робот относительно проблемы локализации.

Проблемы локализации характеризуются типом знаний, доступных изначально и во время выполнения. Различают три типа задач локализации с возрастающей степенью сложности:

Отслеживание положения [4]. Отслеживание положения предполагает, что исходное положение робота известно. Локализация робота может быть достигнута за счет устранения шума при движении робота. Эффект от такого шума обычно невелик. Следовательно, методы отслеживания положения часто основаны на предположении, что ошибка положения невелика. Неопределенность положения часто аппроксимируется унимодальным распределением (например, гауссовым). Проблема отслеживания положения является локальной проблемой,

поскольку неопределенность носит локальный характер [5] и ограничивается областью, близкой к истинному положению робота.

Глобальная локализация [6]. Здесь начальная позиция робота неизвестна. Изначально робот находится где-то в своей среде, но ему не хватает информации о том, где он находится. Подходы к глобальной локализации не могут предполагать ограниченность ошибки позиции. Как принято считать, одномодальные распределения вероятностей обычно не подходят. Глобальная локализация сложнее, чем отслеживание позиции; на самом деле, это включает в себя проблему отслеживания местоположения.

Проблема с похищенным роботом. Эта проблема является вариантом проблемы глобальной локализации, но еще более сложной. Во время работы робота могут похитить и телепортировать в другое место. Проблема похищенного робота сложнее, чем проблема глобальной локализации, поскольку робот может полагать, что знает, где он находится, хотя на самом деле это не так. В глобальной локализации робот знает, что он не знает, где находится. Можно возразить, что на практике роботов редко похищают. Однако практическая важность этой проблемы проистекает из наблюдения, что большинство современных алгоритмов локализации не могут гарантировать, что они никогда не подведут. Способность восстанавливаться после сбоя необходима для действительно автономных роботов. Тестирование алгоритма локализации путем его похищения измеряет его способность восстанавливаться после глобальных сбоя локализации.

Второе измерение, оказывающее существенное влияние на сложность локализации, – это окружающая среда. Среды могут быть статическими или динамическими [7].

Статические среды – это среды, в которых единственной переменной величиной (состоянием) является позиция робота. Иными словами, в статической среде движется только робот. Все остальные объекты в окружении навсегда остаются в одном и том же месте. Статические среды обладают некоторыми хорошими математическими свойствами, которые делают их пригодными для эффективной вероятностной оценки.

В динамических средах есть объекты, отличные от робота, расположение или конфигурация которого со временем меняются. Особый интерес представляют изменения, которые сохраняются с течением времени и влияют более чем на одно показание датчика. Изменения, которые невозможно измерить, конечно, не имеют отношения к локализации, а те, которые влияют только на одно измерение, лучше всего рассматривать как шум. Примеры более постоянных изменений: люди, дневной свет (для роботов, оснащенных камерами), передвижная мебель или двери. Ясно, что большинство реальных сред являются динамическими, и изменения состояния происходят с разной скоростью.

Очевидно, что локализация в динамических средах сложнее, чем в статических. Существует два основных подхода к адаптации динамики: во-первых, динамические объекты могут быть включены в вектор состояния, но такой подход сопряжен с дополнительной сложностью вычислений и моделирования; фактически полученный алгоритм становится алгоритмом отображения. Во-вторых, в определенных ситуациях данные датчиков могут быть отфильтрованы, чтобы исключить вредное воздействие не смоделированной динамики.

Третье измерение, которое характеризует различные проблемы локализации, относится к тому факту, контролирует ли алгоритм локализации движение робота. Различаются два случая:

1. Пассивная локализация. При пассивных подходах [7] модуль локализации только наблюдает за работой робота. Робот управляется какими-то другими средствами, и движение робота не направлено на облегчение локализации. Например, робот может двигаться беспорядочно или выполнять свои повседневные задачи.

2. Активная локализация. Алгоритмы активной локализации [7] управляют роботом таким образом, чтобы свести к минимуму ошибку локализации и/или затраты, связанные с перемещением плохо локализованного робота в опасное место.

Активные подходы к локализации обычно дают лучшие результаты локализации, чем пассивные. Пример ситуации, которая показывает типичное состояние убеждения во время глобальной локализации в локально симметричной среде, показан на рис. 1. Робот должен переместиться в одну из комнат, чтобы определить свое местоположение.

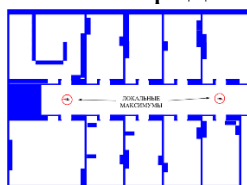


Рисунок 1 – Пример состояния убеждения во время глобальной локализации в локально симметричной среде

Здесь робот находится в симметричном коридоре, и его убеждение после некоторого перемещения по коридору сосредоточено в двух (симметричных) позициях. Локальная симметрия среды делает невозможным локализацию робота в коридоре. Только если он войдет в комнату, он сможет устранить двусмысленность и определить свою позицию. Именно в таких ситуациях активная локализация дает гораздо лучшие результаты: вместо того, чтобы просто ждать, пока робот случайно войдет в комнату, активная локализация может распознать тупик и отправить его туда напрямую. Однако ключевым ограничением активных подходов является то, что они требуют контроля над роботом.

Таким образом, на практике одного метода локализации бывает недостаточно: робот должен быть в состоянии локализовать себя даже при выполнении какой-либо другой задачи, кроме локализации. Некоторые разрабатываемые активные методы локализации построены на основе пассивных методов. Другие объединяют цели выполнения задач с целями локализации при управлении роботом.

**Список использованных источников:**

1. J. Ziegler, P. Bender, M. Schreiber et al., “Making bertha drive-an autonomous journey on a historic route” IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 6, no. 2, pp. 8–20, 2014. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6522193>

2. Сэм Ньюман. Создание микросервисов – O'Reilly Media, Inc. 2015. – 327с. ISBN: 9781491950357.

3. ROS gmapping [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://wiki.ros.org/gmapping> (дата обращения 22.05.2021).

4. Roman Fedorenkoa, Boris Gurenko “Local and Global Motion Planning for Unmanned Surface Vehicle” DOI: 10.1051/mateconf/2016420100, published by EDP Sciences, 2016

5. Власов С.Л., Власов В.О., Захаркина С.В. ROS: управление мобильными роботами с использованием JAVASCRIPT DEVICEMOTIONEVENT. Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 4. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. С. 165-169.

6. Ahmed Hussein, David Martin, Arturo de la Escalera., “Global and Local Path Planning Study in a ROS-Based Research Platform for Autonomous Vehicles” Research Article, Volume 2018, Article ID 6392697 [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://doi.org/10.1155/2018/6392697> (дата обращения 22.05.2021)

7. Francesco Maurelli, Szymon Krupiński, Xianbo Xiang, Yvan Petillot “AUV localisation: a review of passive and active techniques November 2021 International Journal of Intelligent Robotics and Applications” DOI:10.1007/s41315-021-00215-x

© Власов С.Л., Захаркина С.В., 2022

УДК 53.087

## СИСТЕМА «УМНАЯ КВАРТИРА» НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

Гаффанова А.Р.

Научный руководитель Низамиев М.Ф.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Казань*

На сегодняшний день все стремятся к домашней автоматизации. У многих в квартире есть робот-пылесос, посудомоечная машина, камеры слежения и др. Но система «Умная квартира» позволит расширить возможности автоматизации и обеспечит безопасность и комфорт. Система будет контролировать температурные изменения, системы безопасности, утечки газа и воды, освещение, а также оповещать о появлении воспламенения.

Для реализации системы «Умная квартира» на рис. 1 была выбрана модель жилой квартиры площадью 31,5 м<sup>2</sup>, состоящая: из кухни, гостиной, спальни, санузла, прихожей и балкона.



Рисунок 1 – Планировка двухкомнатной квартиры

В каждой комнате стоит определенный датчик, обеспечивающий комфорт и безопасность в квартире.

В кухне важно следить за правильной работой бытовой техники и не допускать протечек газа и воды, так как в большинстве случаев она приводит к чрезвычайным ситуациям. Практически у всех установлены газовые плиты, поэтому для обеспечения безопасности важно установить датчик газа. Его принцип работы заключается в том, что при повышении номинального значения газа в воздухе (ГОСТ Р 54961-2012) срабатывает тревожный световой сигнал, сигнализирующий о протечке газа [1]. Также необходимо установить пожарную сигнализацию, который будет улавливать инфракрасное излучение, свойственное огню. Такие датчики могут подавать сигнал на смартфон и соответствующие службы безопасности.

В санузле есть необходимость слежения за влажностью и температурой воздуха. С помощью датчиков температуры и влажности можно соблюдать необходимую нам температуру в комнате. Принцип работы датчиков в том, что при повышении температуры и влажности выше

или ниже номинального значения (ГОСТ 30494-2011) включается система вентиляции [2].

Таблица 1 – Норма показаний температуры и влажности в помещении

Температура, °С	Влажность, %
18-26	45-60

Если показания температуры не превышают данного значения, но влажность больше нормы, то вентиляция все равно начинает работать.

Все датчики работают круглосуточно, но если вдруг один из датчиков срабатывает, то на смартфон владельца приходит уведомление об аварийной ситуации, также на LCD-дисплей отражаются показатели температуры и влажности в комнате.

Охранная система реализуется в виде трех режимов работы. Переход в первый режим работы осуществляется через нажатие кнопки или громкого звука, который уловит датчик звука. Если в течение 5 секунд хозяин квартиры исчез из поля видимости датчика, то сигнальная система переходит во второй режим работы, где будет фиксироваться любое движение в помещении. Если движение зафиксировано, то владельцу приходит уведомление о несанкционированном проникновении в квартиру.

Система «Умная квартира» состоит из двух блоков – это передатчик и приемник. Так же система передает показания датчиков по радиоканалу. Для этого используется комбинация микроконтроллер и радио-модуль NRF24L01. Одна эта комбинация используется на стороне приемника, а другая комбинация на стороне передатчика. Блок передатчика состоит из микроконтроллера MEGA, датчика температуры и влажности DHT-11, датчика движения HC-SR501, датчика жидкости, датчика горючих газов MQ5 и модуля датчика огня. Все датчики подают данные на аналоговые входы Arduino MEGA, кроме датчика температуры и влажности DHT-11, так как он передает данные на цифровой выход. После чего данные упаковываются в массив и отправляются радио-модулю NRF24L01 по SPI интерфейсу (выводы: SCK, MOSI, MISO И SS) [3].

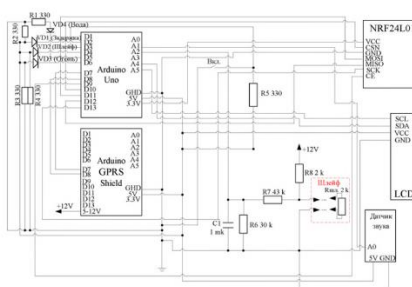


Рисунок 2 – Электрическая принципиальная схема приемника системы «Умная квартира»

Блок приемника (рис. 2) состоит из микроконтроллера Arduino Uno, датчика звука, GPRS Shield. Также, в блоке подключен LCD дисплей для вывода значения температуры и влажности в помещении. Arduino Uno получает отправленный массив данных из радио модуля NRF24L01, далее

микроконтроллер сортирует данные из массива и сравнивает эти данные с заданными условиями для каждого датчика. Если значения одного из данных превышает заданным им условием, то на определенный светодиод VD подается единица.

При этом Arduino Uno по выходам D6, D7 (COM порт) передает команду GSM модулю на передачу SMS оповещение на определенный сотовый номер. В блоке приемника присутствует охранный шлейф. Охранный шлейф – это цепь из последовательно и параллельно включенных датчиков. К одному шлейфу могут быть подключены несколько датчиков, как нормально замкнутых (НЗ), так и нормально разомкнутых (НР) [4].

Рассмотрим схему работы охранного шлейфа. Кнопка «Вкл.» служит для включения охранной сигнализации. Кратковременное нажатие на кнопку «Вкл.», при этом подается уровень логического нуля на вход D3 Arduino Uno, в остальное время на входе D3 присутствует уровень логической единицы за счет резистора R5, приводит к запуску таймера на 5 секунд (об этом сигнализирует мигание светодиода VD1). Данное время необходимо для того, чтобы успеть покинуть охраняемое помещение без срабатывания сигнализации. При этом визуальный контроль шлейфа осуществляем по красному светодиоду VD2, на время работы таймера светодиод VD2 начинает мигать, но при этом нет признаков для тревожных сообщений. Блок сигнализации контролирует сопротивление шлейфа. Если сопротивление меньше нижнего или больше верхнего порога, то устройство подает сигнал тревоги.

Нормальным считается сопротивление шлейфа, заданного окончечным резистором. Если вор замкнет провода шлейфа или разорвет их, то сработает сигнализация.

Таблица 2 – Номинальное значение сопротивления шлейфа

Верхний порог	Нижний порог
5900 Ом	540 Ом

Сопротивление шлейфа в диапазоне 540-5900 Ом считается нормальным, но при выходе значения за указанные пределы сопротивления шлейфа срабатывает сигнализация.

На рис. 3 показан вариант схемы подключения всех модулей микроконтроллера Arduino.

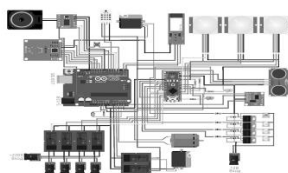


Рисунок 3 – Схема подключения модулей Arduino

Система «Умная квартира» с помощью микроконтроллера Arduino может самостоятельно контролировать все системы, важно лишь запрограммировать с помощью программы C++ на свой лад. Все функции



системы помогут сделать свое проживание комфортным и безопасным, а главное экономичным.

#### **Список использованных источников:**

1. Системы газораспределительные. Сети газопотребления. Общие требования к эксплуатации: ГОСТ Р 54961-2012. Эксплуатационная документация. М.: Стандартинформ, 2014.

2. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: ГОСТ 30494-2011. М.: Стандартинформ, 2013.

3. Arduino для начинающих [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/NY6j2> (дата обращения 10.03.2022)

4. Рабочий проект Ардуино. Охранная сигнализация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/dZ96x> (дата обращения 10.03.2022)

© Гаффанова А.Р., 2022

#### **УДК 331.421.1**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Гужавина Е.Н., Терехова М.В., Бородина Е.С., Отрубянников Е.В.  
*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Одним из важнейших вопросов при проектировании помещений является создание рационального освещения, отвечающего техническим, экономическим и санитарно-гигиеническим нормам. Неправильное проектирование систем освещения может привести к понижению умственной и физической работоспособности, к излишнему расходу электричества.

Современные решения вопросов оптимального использования ресурсов требуют комплексного подхода. Такого рода комплексный подход выражается в объединении в рамках единой системы инженерных вычислительных технологий и механизма управления освещением. Необходим баланс между минимизацией потребления электроэнергии, что определяет экономическую выгоду проводимых мероприятий, и соответствием санитарно-гигиеническим нормам [1, 2].

Существует множество подходов для выполнения инженерных расчетов систем освещения. В частности, в данной работе рассматривается расчет, выполненный в программном обеспечении DIALux [3, 4].

Расчет освещения в данной программе основан на методе излучательности. Суть метода заключается в том, что сцена освещения делится на элементы (патчи), обладающие свойствами излучать, поглощать и отражать свет. Процесс вычисления освещения состоит из набора

итераций, каждая из которых уточняет результат расчета. Для каждого патча высчитывается полученная им энергия от первичных источников и доля энергии, которую он получит от следующих источников. Данный процесс длится до того момента, пока не установится равновесие между поверхностями сцены освещения. При этом должны соблюдаться следующие допущения:

- 1) материал должен быть диффузным, то есть вся отражённая энергии от его поверхности должна рассеиваться равномерно по всем направлениям;
- 2) система должна быть замкнута, то есть суммарная энергия в системе должна сохраняться.

Достоинством программа DIALux является не только возможность провести расчет освещения помещения с учетом только естественного, искусственного или совмещенного освещения, но и возможность учесть все факторы расположения помещения: этажность, ориентирование в пространстве, географические координаты и т.д. Благодаря этому расчет системы освещения имеет высокую достоверность.

На рис. 1 представлен расчет учебной аудитории. Результат расчета может быть представлен изолиниями освещенности (рис. 1г), что позволяет наглядно определить достаточность естественного освещения в различный момент времени с учетом работы искусственного освещения.

В приведенном расчете системы освещения учебной аудитории, очевидно, что использование искусственного освещения при наличии естественного освещения, приводит к слишком высоким показателям освещенности в области рядом с оконными проемами, но при этом в области расположения лабораторного оборудования освещенность находится на минимально допустимых нормах. Такого рода ситуации встречаются в большинстве расчетов и могут быть как просчетами при проектировании, так и вынужденными мерами для обеспечения достаточности освещения.

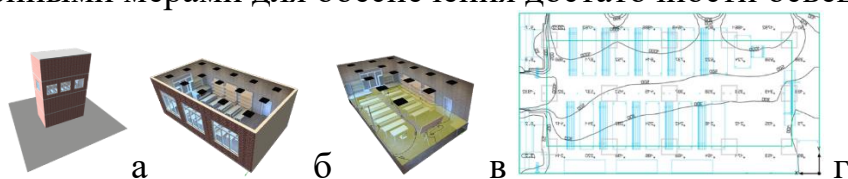


Рисунок 1 – Расчет помещения в ПО DIALux: а) вид здания; б) этаж; в) помещение; г) изолинии освещенности

Для решения вышеуказанных проблем можно выполнить частичную модернизацию системы освещения, позволяющую управлять интенсивностью свечения конкретных ламп. В случае добавления в такого рода систему логики управления возможно решить проблемы перерасхода электроэнергии и излишнего освещения в периоды максимального естественного освещения.

В данной работе программно-аппаратный комплекс состоит из следующих элементов (рис. 2):

Raspberry PI как управляющая система;  
USB-сопроцессор Neural Compute Stick как вычислительная система;  
Arduino UNO как вспомогательная система в особых случаях;  
WEB-камера как источник информации;  
механизм управления интенсивностью свечения ламп, находящийся под управлением Raspberry PI, как исполнительный механизм;  
лампы, поддерживающие управление интенсивностью свечения.



Рисунок 2 – Программно-аппаратный комплекс управления системой освещения

Программно-аппаратный комплекс устанавливается в существующее помещение, рассчитанное в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами. Важным условием данного решения является необходимость управления с контроллера интенсивностью свечения каждой конкретной лампы.

В основе логики системы с целью заменить сложно реализуемые датчики лежат нейронные сети [5].

Нейронная сеть является распространенным инструментом для обработки изображений. Нейронная сеть состоит из первого слоя – входные параметры, одного или нескольких скрытых слоёв, и последнего слоя, где формируется результат работы нейронной сети – выходные параметры.

Различают несколько видов нейронных сетей: многослойный перцептрон; сверточная нейронная сеть; рекурсивная нейронная сеть; рекуррентная нейронная сеть; LSTM (модели долгой краткосрочной памяти); неглубокие (shallow) нейронные сети [6].

Система управления имеет три базовых режима функционирования:

1. Обучение нейронной сети. На данном этапе сеть обучается на расчетных данных по помещению, ассоциируя картинку с камеры с расчетными данными. В частности, в качестве исходных данных могут использоваться расчетные данные, полученные в программном обеспечении DIALux. Фактически нейронная сеть формирует соответствие освещенности и картинки, полученной с камеры.

2. Функционирование нейронной сети. Ориентируясь на картинку с камеры, нейронная сеть передает информацию об ожидаемых показателях освещенности, и контроллер управляет осветительными приборами. Шаг реакции на изменения определяется в логике контроллера как по времени, так и по освещенности.

3. Корректировка. Дополнительное обучение, связанное с калибровкой расчетов и коэффициентов нейронной сети. Выполняется на

уже обученной сети, для повышения её точности. Люксметром замеряется показание в конкретной точке и сравнивается с ожиданием нейронной сети. В сеть добавляются уточняющие коэффициенты, корректирующие ожидание до измеренного. Коэффициенты могут быть введены как на предпоследнем нейроне, так и как функция постобработки результата работы сети [7, 8].

Показатели, рассчитанные в программном обеспечении DIALux, представляют собой области освещенности, которые расположены в соответствии с геометрией помещения, что позволяет использоваться их при обучении нейронной сети. Сопоставляя расчетные данные по текущей ситуации и картинку, полученную с камеры, нейронная сеть в режиме обучения преобразует эти данные в весовые коэффициенты, которые в дальнейшем будут использоваться в прогнозировании. Процесс обучения нейронной сети состоит из выбора подходящих значений веса для всех связей в сети. Метод обучения основан на обратном распространении ошибки. При обучении нейронной сети у нас нет целевых значений для скрытых узлов сети, за основу берутся только значения итогового выходного слоя, эти значения происходят из расчетных данных по освещению которые мы предоставили для нейронной сети. Ошибка на выходных узлах нейронной сети является разностью между желаемым и фактическим выходными значениями. Распределение ошибки между узлами неравномерное, и зависит от весовых коэффициентов связей, ошибка распределяется пропорционально значению весового коэффициента связи. Обратное распространение ошибок происходит аналогично тому, как сигналы проходят через нейронную сеть от первого слоя к последнему. Таким образом, ошибка на первом скрытом узле представляет собой сумму ошибок, распределенным по всем связям, исходящим из этого узла в прямом направлении. Ошибка сети задается функцией, для оптимизации процесса обновления весовых коэффициентов, и к этой функции применяется метод градиентного спуска. Нахождение минимума этой функции позволяет утверждать, что ошибка минимизирована.

В режиме функционирования основной задачей нейронной сети является выровнять области освещенности до необходимых показателей. При этом нейронная сеть позволит найти минимально необходимый коэффициент, сокращая затраты на электроэнергию.

Таким образом, предложенный комплексный подход позволит обеспечить высокое качество световой среды и энергоэффективность системы освещения.

#### **Список использованных источников:**

1. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс].- Введ. 2017-05-08/ Электронный фонд правовой и

нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>

2. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [Электронный ресурс].- Введ. 2021-01-28/ КонсультантПлюс надежная правовая поддержка.– Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_375839/63](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/63)

3. Программа Dialux [Электронный ресурс]/ Официальный сайт «DIAL». Режим доступа: <https://www.dial.de/en/dialux/>

4. Беспалько Н.Е. Расчёт общего равномерного искусственного освещения производственного помещения: Метод. указания. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 12 с.

5. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и их приложение: учебное пособие – Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2018. – 121 с.

6. Generation of hourly irradiation synthetic series using the neural network multilayer perceptron / Hontoria L., Aguilera J., Zufiri A P. // Solar energy: L. Hontoria, Grupo Investigacion y Desarrollo en Energia Solar y Automatica, Departamento de Electronica, E.U.P. Linares, Universidad de Jaen, Alfonso X El Sabio 28, 23700, Linares-Jaen, Spain, C. 441-446.

7. Ростовцев В. С. Искусственные нейронные сети: учебник – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 216 с.

8. OpenCV шаг за шагом [Электронный ресурс]/ Портал RoboCraft. Режим доступа: <https://robocraft.ru/page/opencv/>

9. Разработка концепции адаптивного освещения на базе нейронных сетей / Гужавина Е.Н., Терехова М.В. // Безопасность и охрана труда – 2021: Молодежной программы 25-ой Международной специализированной выставки и Форума «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2021, С. 170-173.

© Гужавина Е.Н., Терехова М.В.,  
Бородина Е.С., Отрубянников Е.В., 2022

УДК 62-573.2

## ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАПУСКА И РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул*

Установлено, около 70% потребляемой электроэнергии приходится на электродвигатели. Это связано с тем, что они являются достаточно универсальным средством преобразования электрической энергии в механическую. Электродвигатели используются в промышленности, сельском хозяйстве, ЖКХ, бытовых приборах и т.д. Существует множество типов электродвигателей, из которых самый распространенный – трехфазный асинхронный короткозамкнутый электрический двигатель [1-3]. Данный тип электрического двигателя имеет ряд достоинств, по сравнению с другими типами двигателями: высокая надежность, простота в эксплуатации, низкая стоимость. Для питания такого типа двигателя необходимо подключение к трехфазной сети переменного тока. Однако, у некоторых потребителей может отсутствовать трехфазное электроснабжение. В таком случае возникает проблема выбора эффективного метода обеспечения работы трехфазного электрического двигателя от однофазной сети переменного тока [4].

В АлтГТУ им. И.И. Ползунова на базе кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» разработан «Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый сетью» [5]. Принципиальная электрическая схема данного устройства приведена на рис. 1.

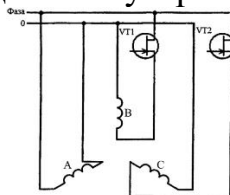


Рисунок 1 – Электрическая схема разработанного устройства

Существуют аналогичные устройства, также позволяющие осуществлять запуск трехфазных асинхронных двигателей от однофазной сети, выполненные на основе индуктивности и бумажного конденсатора большой емкости [2]. Они обладают рядом недостатков: низкая надежность, непредсказуемость направления вращения двигателя, низкие энергетические показатели. Все эти недостатки устранены в разработанном устройстве за счет оригинальной системы управления двигателем,

выполненной на основе двух силовых транзисторных ключей. В качестве данных ключей могут быть использованы IGBT, MOSFET транзисторы и другие.

В основе работы устройства лежит принцип векторно-алгоритмического управления. При помощи полупроводниковых ключей контролируется уровень напряжения на каждой обмотке статора двигателя. Таким образом, осуществляя коммутацию обмоток в определенной последовательности, возможно создание различных положений вектора магнитной индукции поля статора электродвигателя.

Опишем один из возможных алгоритмов открытия транзисторов для коммутации статорных обмоток, который иллюстрируется векторной диаграммой на рис. 2.

1. Для создания вектора магнитной индукции в соответствии с положением I при положительной полуволне однофазного питающего напряжения необходимо открыть транзистор VT1.

2. Для создания вектора магнитной индукции в соответствии с положением II при положительной полуволне однофазного питающего напряжения необходимо закрыть все транзисторы.

3. Для создания вектора магнитной индукции в соответствии с положением III при положительной полуволне однофазного питающего напряжения необходимо открыть транзистор VT2.

4. Для создания вектора магнитной индукции в соответствии с положением IV при отрицательной полуволне однофазного питающего напряжения необходимо открыть транзистор VT1.

5. Для создания вектора магнитной индукции в соответствии с положением V при отрицательной полуволне однофазного питающего напряжения необходимо закрыть все транзисторы.

6. Для создания вектора магнитной индукции в соответствии с положением VI при отрицательной полуволне однофазного питающего напряжения необходимо открыть транзистор VT2.

В следующие периоды питающего однофазного напряжения алгоритм подачи управляющих напряжений на затворы транзисторов повторяется, тем самым обеспечивая вращение поля статора трехфазного двигателя.

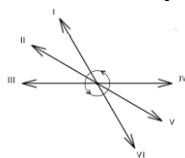


Рисунок 2 – Векторная диаграмма вращения магнитодвижущей силы

Для исследования характеристик электропривода с полупроводниковым устройством использовалась среда компьютерного имитационного моделирования Matlab Simulink. Расчет данных, необходимых для работы имитационной модели, был произведен на основе

параметров реального двигателя марки «АИС56В4У3». Данный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет следующие номинальные характеристики: мощность,  $P_H = 0,09\text{кВт}$ ; напряжение,  $U_H = 380\text{В}$ ; ток,  $I_H = 0,42\text{А}$ ; момент, развиваемый двигателем,  $M_H = 0,64\text{Нм}$ ; частота вращения,  $n = 1350\text{ об/мин}$ .

Результаты моделирования представлены на рис. 3-4.

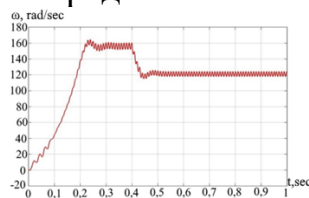


Рисунок 3 – Осциллограмма изменения угловой скорости в режиме пуска и работы под нагрузкой

Из рис. 3 видно, как происходит изменение угловой скорости вала электродвигателя при пуске в момент времени от начала моделирования (0с) и до мгновенного изменения номинального момента нагрузки (0,64 Нм) через 0,4 с на вал. Следует отметить, что после подключения нагрузки угловая скорость достигает установившегося значения (123 рад/с) через 0,12 с.

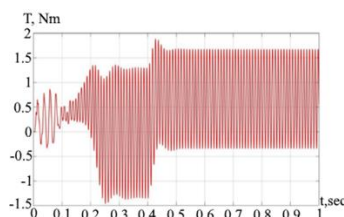


Рисунок 4 – Осциллограмма изменения вращающего момента в режиме пуска и работы под нагрузкой

Из осциллограммы видно, что при запуске вращающий момент на валу электродвигателя в моменты времени от начала моделирования (0 с) и до 0,4 с, колеблется от 1,3 Нм до -1,4 Нм. При мгновенном изменении номинального момента нагрузки (0,64 Нм) через 0,4 с, вращающий момент изменяется от 1,7 Нм до -0,4 Нм.

Таким образом, установлено, что разработанное полупроводниковое устройство может быть применено в электроприводе для запуска и работы трехфазного электродвигателя в случае отсутствия трехфазного источника электроснабжения.

#### Список использованных источников:

1. Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В. Однофазный частотный регулятор скорости для запуска и работы трехфазного электродвигателя от однофазной сети // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021) : Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 12–15 апреля – 2021. – С. 181-185.



2. Халина Т. М., Стальная М. И., Еремочкин С. Ю. Система управления однофазнотрехфазным транзисторным реверсивным коммутатором, ведомым однофазной сетью // Известия горского государственного аграрного университета. 2012. Т. 49, №3 С. 300-304.

3. Еремочкин, С.Ю., Королев Д.А. Устройство регулирования скорости вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя для пастеризационных установок // Наука и молодежь: мат. 15-й Междунар. науч.-техн. конф.; г. Барнаул, 25 апреля 2018. - С. 41-43.

4. Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В. Реверсивный полупроводниковый коммутатор запуска трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя от однофазной сети // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век: Материалы XVIII междунар. науч.-практ. конф.; г. Орел, 8-10 декабря 2020. – С. 43-48.

5. Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый сетью: пат. 121976 Рос. Федерация / М.И. Стальная, Т.М. Халина, С.Ю. Еремочкин. № 2012124138/07; заявл. 08.06.2012; опубл. 10.11.2012, Бюл. №31.

© Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В., 2022

УДК 62-573.2

## УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул*

В последние десятилетия российские горнодобывающие предприятия стремятся занять свое место на мировом рынке. Несмотря на огромный потенциал, обусловленный природными богатствами страны, предприятиям горной промышленности трудно конкурировать на внешнем рынке. Причиной являются техническое и технологическое отставание, низкая энергоэффективность промышленности. В связи с этим российские предприятия стремятся максимально повысить свою экономическую эффективность. В условиях жесткой конкуренции на мировом рынке добиться повышения экономической эффективности предприятий горной промышленности можно только путем систематического обновления производства на основе инновационных технологий.

Одним из направлений развития производства можно считать совершенствование электропривода механизмов, задействованных в горной промышленности [1]. Электропривод является основной составляющей

большинства промышленных механизмов. В горной промышленности электропривод представлен во всем своем многообразии. С помощью электродвигателей приводятся в движение многотонные ковши экскаваторов, электровозный транспорт на карьерах, ленточные конвейеры, буровые станки, очистные комбайны, транспортно-отвальные мосты и прочие ходовые и подъемные механизмы. При этом экономическая эффективность горного оборудования может быть улучшена путем совершенствования систем электропривода отдельных механизмов.

В настоящее время в механизмах горных машин наибольшее распространение получил электропривод с применением трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, имеющих ряд преимуществ: простота в обслуживании, надежность, низкая стоимость [2-4]. При этом, для питания данного типа двигателей необходима трехфазная сеть электроснабжения, которая может отсутствовать в отдаленной местности.

Для обеспечения регулирования скорости трехфазного асинхронного электродвигателя при питании от однофазной сети в пределах как выше, так и ниже номинальных значений возможно использование трехфазного преобразователя частоты [5]. Принципиальная электрическая схема устройства приведена на рис. 1.

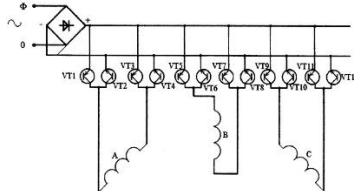


Рисунок 1 – Принципиальная схема однофазного частотного регулятора скорости

Трехфазный преобразователь частоты содержит шесть пар полупроводниковых ключей, подключенных к началам и концам статорных обмоток. Данная схема позволяет осуществлять отдельное питание обмоток, что создает широкие возможности для регулирования скорости двигателя. При этом, на входе преобразователя стоит однофазный выпрямитель.

Важным этапом в разработке любого технического устройства является проведение испытания. Для небольших коллективов ученых создание опытных образцов может быть затруднено или даже невозможно в связи со значительной дороговизной конструкционных материалов и недостаточной технической оснащенностью лабораторий.

В процессе разработки создается множество схем устройств запуска и регулирования скорости различных типов двигателей. Исследование каждого из них путем построения прототипов экономически нецелесообразно и трудозатратно. Выходом из сложившейся ситуации служит применение средств компьютерного имитационного

моделирования. Оно имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами исследования: имеется возможность решения систем интегральных и дифференциальных уравнений высших порядков, построения графиков на основе полученных результатов, возможно проведение любого числа испытаний, дешевизна эксперимента.

Существует множество компьютерных программ, предназначенных для создания имитационных моделей. Для проведения исследования трехфазного преобразователя частоты был выбран пакет прикладного программного обеспечения Matlab Simulink [1-5, 7, 10-25]. Его преимущества по сравнению с другими средствами компьютерного моделирования заключаются в том, что он содержит большую библиотеку, предназначенную для моделирования работы электрических машин.

Исследование разработанного трехфазного преобразователя частоты в среде Simulink проводилось с применением моделей электрических элементов, которые содержатся в стандартной библиотеке Power Electronics. Результаты моделирования приведены на рис. 2-3.

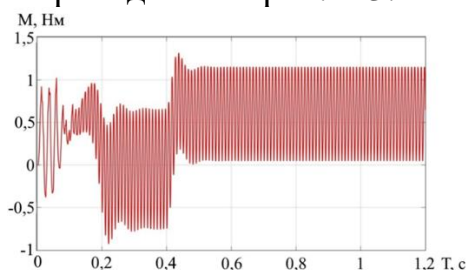


Рисунок 2 – Осциллограмма изменения вращающего момента в режиме пуска и работы под нагрузкой

На графике, представленном на рис. 2, видно, что после пуска электродвигателя происходит пульсация момента в пределах от 1 Нм до -0,9 Нм. В момент времени  $t=0,4$  с к двигателю прикладывается нагрузка (0,64 Нм), после чего вращающий момент колеблется от 0,1 Нм до 1,3 Нм.

Из графика, представленного на рис. 3, видно, что двигатель разгоняется до номинальной скорости за 0,25 с. В момент времени  $t = 0,4$  с к двигателю прикладывается нагрузка. Происходит резкое уменьшение угловой скорости, которая через 0,1 с приходит в установившееся значение  $\omega = 130$  рад/с.

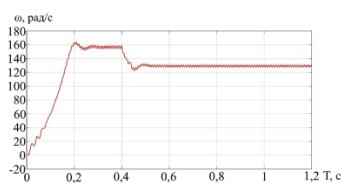


Рисунок 3 – Осциллограмма изменения угловой скорости в режиме пуска и работы под нагрузкой

Таким образом, на основе полученных в результате компьютерного моделирования данных можно сделать вывод о том, что разработанный трехфазный преобразователь частоты может быть использован в

электроприводе механизмов горной промышленности для питания трехфазного асинхронного электродвигателя при работе от однофазной сети.

**Список использованных источников:**

1. Еремочкин, С. Ю. Повышение эффективности мобильных машин в апк на основе векторно-алгоритмического управления электродвигателем [Текст]: дис....канд. техн. наук: 05.20.02 / С. Ю. Еремочкин. – Барнаул, 2014. – 151 с.

2. Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В. Однофазный частотный регулятор скорости для запуска и работы трехфазного электродвигателя от однофазной сети // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021) : Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 12–15 апреля – 2021. – С. 181-185.

3. Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В. Устройство регулирования скорости вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя для пастеризационных установок // Наука и молодежь: мат. 18-й Всероссийской науч.-техн. конф.; г. Барнаул, 19-23 апреля 2021. - С. 230-232.

4. Титова А.А., Королев Д.А., Еремочкин С.Ю. Моделирование характеристик работы электропривода с регулируемым транзисторным редуктором // Энергетика глазами молодых. 2017. С. 113-116.

5. Широкополосый трехфазный преобразователь частоты с явно выраженным звеном постоянного тока для питания трехфазного асинхронного электродвигателя: пат. 2482593 Рос. Федерация / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин. № 2011145627/07; заявл. 09.11.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. №14.

© Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В., 2022

УДК 681.6, 681.9, 004.356

**ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ 3Д-ПЕЧАТИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ НАРОДНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ**

Запорожан Д.Ю., Канатов А.В.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В настоящее время 3Д-печать является неотъемлемой частью современных технологических процессов производства. Она служит как разработка конструкторских прототипов для различных отделов разработки, так и выпуск единичной или массовой продукции. 3Д-печать является перспективным направлением развития машиностроения. В

данной статье рассмотрим различные виды 3D-печати и материалы применяемые для создания 3D-объектов.

Рассмотрим основные направления развития фаббер-технологий (аддитивные технологии). Аддитивные технологии (англ. Additive Manufacturing) – технологии послойного наращивания и синтеза объектов. Широкое применение получили для так называемой фаббер-технологии (англ. fabber technology, также распространено наименование «3D-печать») – группы технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном формировании изделия путём добавления материала на основу (платформу или заготовку).

Селективное лазерное плавление (СЛП, англ. SLM) – разработка послойного аддитивного изготовления с использованием лазера. Сейчас способ SHIP считается самой быстрорастущей прогрессивной технологией между способов аддитивного изготовления. Впрочем, есть проблема технологических достижений, которая ограничивает его последующее внедрение для дел прогрессивной индустрии. Повышенный спрос на технологию обоснован достижением высокого качества приготовления конечного продукта: необходимой шероховатостью, точностью исполнительных размеров критических элементов изделия, минимальной толщиной изготовления конструктивно-технологических элементов формы изделия, что может быть гарантировано небольшим радиусом лазера.

Лазерная стереолитография (laser stereolithography, SLA) – объекты формируются из светочувствительного материала, который затвердевает под воздействием светового лазерного излучения (или ртутных ламп). В этом случае лазерное излучение на поверхности формирует текущий слой объекта, подлежащего проявке, после чего объект погружается в фотополимер на толщину одного слоя, чтобы лазер мог начать спекать следующий слой. Существует также вариант этой технологии - SLA-DLP, в котором вместо лазера используется DLP-проектор (в этом случае сразу формируется весь слой, что ускоряет процесс печати).

Моделирование методом наплавления (Fused deposition modeling, FDM) – модель изготавливается путём послойного нанесения расплавленной нити (пластик, металл, воск). Материал подаётся в экструзионную головку, которая выдавливает на охлаждаемую платформу тонкую нить расплавленного материала, таким образом формирует текущий слой изготавливаемого объекта. Далее платформа опускается на толщину одного слоя, и процесс возобновляется повторно.

Электронно-лучевая плавка (electron beam melting, EBM) – технология аналогична SLS/DMLS, только здесь объект формируется путем на плавления металлического порошка при помощи лазера в вакууме. Данный процесс позволяет изготавливать крупногабаритные 3D-детали из тугоплавких металлов по технологии EBAM компании Sciaky

Перспективными материалами для печати на 3D-принтерах являются АБС-пластик (сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирол) как наиболее часто используемый материал для печати на 3D-принтерах. Физические свойства твердый, вязкий, очень устойчив к изменениям температуры, в зависимости от типа устойчив к воздействию холода или тепла, исключительно устойчив к воздействию внешней среде. Из него можно создавать сложные объекты с хорошим качеством изготавливаемого изделия, со стоимостью ниже, чем другие материалов. Он хорошо поддается обработке шлифованию, сверлению и т.д. АБС-пластик растворим в ацетоне, и это свойство часто используется для изготовления сложных композитных конструкций.

АБС-пластик можно использовать для печати опытных образцов, так и функциональные объекты, имеющие конкретное предназначение. Материал устойчив к воздействию УФ-излучения и высоких температур. Из него изготавливаются игрушки, товары народного потребления, различных механизмов, деталей и важных узлов техники.

Печать на 3D-принтере АБС-пластиком осуществляется по технологии FDM (моделирование посредством наплавления). Расходный материал поставляется в виде тонкой пластиковой нити, намотанной на катушку.

ПЛА-пластик является альтернативой АБС-пластику. Он производится из натурального природного сырья и часто используется в пищевой промышленности. Однако эта же особенность отражается и на стоимости материала – при всех своих преимуществах полилактид обходится дороже АБС-пластика.

Печать на 3D-принтере ПЛА-пластиком осуществляется по технологии FDM (моделирование посредством наплавления).

Полиамид – это термопластичный полимер, обладающий надлежащей жесткостью и прочностью, устойчивостью к воздействиям окружающей среды. Трехмерные модели из полиамида производятся на 3D-принтере из белого гранулированного порошка. Плоскость готового изделия выглядит шероховатой, немного пористой

Полиамид имеет возможность быть применен для моделирования сложных, концептуальных дизайнерских проектов. Модель из полиамида не подходит для наружного использования, так как не впитывает влагу. Однако в некоторых случаях материал можно сделать водостойким, обработав его дополнительно.

Печать полиамидом осуществляется с помощью селективного лазерного спекания (SLS).

Фотополимерные смолы представляют собой класс светочувствительных смол, способных изменять свое агрегатное состояние под воздействием лазерного луча или ультрафиолетовой вспышки. С

помощью фотополимерных смол возможна 3D-печать многокомпонентных изделий.

К преимуществам фотополимеров относится высокое разрешение печати, что делает этот материал идеальным для изготовления точных моделей при литье и создании ювелирных изделий. Поверхность деталей не требует дополнительной обработки. Изделия могут обладать широким спектром физико-механических свойств (гибкие и твердые, прозрачные и непрозрачные). Кроме того, возможно получение новых композиционных материалов с заданными механическими свойствами.

Недостатком фотополимеров является высокая стоимость расходных материалов, сложность печати и большие размеры принтеров.

3D-печать фотополимерными смолами может происходить по нескольким технологиям: SLA (лазерная стереолитография), SGC (отверждение на твёрдом основании), MJM (метод многоструйного моделирования) и PolyJet.

Сталь – самый прочный материал, применяемый для 3D-печати. Сталь возможно применить в виде сплавов совместно с другими металлами: алюминием, никелем, медью. Смешивание металлического порошка в разных пропорциях позволяет обеспечить специальному материалу требуемые физико-механические свойства и внешний вид.

Сформированная 3D-модель из металлических сплавов имеет повышенную шероховатость и пористую структуру. Проведение дополнительной обработки 3D-модели придает глянцевую поверхность готовому изделию. Благодаря высокой прочности полученных деталей методом 3D-печати по металлу, возможно, применять их как в серийном производстве, так и единичном производстве.

Печать металлическим порошком может осуществляться по технологиям SLS (селективное лазерное спекание), SLM (селективное лазерное плавление) и EBM (спекание направленным пучком электронов).

Применение благородных металлов для 3D-печати позволяет получить модели, отличающиеся не только уникальным внешним видом, но и требуемыми физико-механическими свойствами. В процессе печати можно использовать различные цветовые гаммы за счет смешения с другими металлами. Такая технология обеспечивает повышенную прочность и в ряде случаев упрощает производство.

Основным металлом, обеспечивающим высокие физико-механические показатели, является присадка титан. Модели, изготовленные из титана, печатаются на 3D-принтерах из порошка, который спекается при помощи лазера. Готовые объекты имеют отличия от привычных изделий из титана.

Из этого материала изготавливают функциональные запчасти для различного оборудования, а также ювелирные украшения.

Модельный воск представляет собой натуральный термопластичный материал, который широко применяется для создания оригинальных изделий, идеально подходит для печати в ювелирных изделиях.

К достоинствам восковой 3D-печати также можно отнести использование стандартных методов изготовления индивидуальных изделий.

По технологиям DODJet 3D-печать осуществляется напылением капель нагретого материала, FDM – моделированием посредством наплавления, MJM – методом многоструйного моделирования, PolyJet и SLS – путем селективного лазерного спекания.

Перечисленные выше технологии позволяют получить детали технологического оборудования с уникальными свойствами, что позволяет расширить их применение в промышленном дизайне, в архитектурном проектировании сооружений и в искусстве.

#### **Список использованных источников:**

1. Смуров, И. Ю. Экспериментальное аддитивное прямое производство с помощью лазера / И. Ю. Смуров, И. А. Мовчан, И. А. Ядройцев ... [и др.] // Вестник МГТУ «Станкин» : журн. – 2012. – № 2 (20). – ISSN 2072-3172. 2. Григорьев, С. Н. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С. Н. Григорьев, И. Ю. Смуров // Инновации : журн. – 2013. – Т. 10, № 180. – С. 76–82. – ISSN 2071–3010.

3. Дежина, Ирина Геннадиевна. Новые производственные технологии: публичный аналитический доклад / [Дежина И. Г. и др.] ; Сколковский ин-т науки и технологий. - Москва : Дело, 2015. - 271 с. : ил.; ISBN 978-5-7749-1064-9

4. Ритланд, Маркус. 3D-печать с помощью SketchUp : рассмотрение реальных ситуаций, которые помогут вам разрабатывать в SketchUp модели для 3D-печати на любых 3D-принтерах - от самых маленьких настольных до самых больших промышленных / Маркус Ритланд ; перевод с английского Петелина А. Ю. - Москва : ДМК Пресс, 2020. - 135 с. : ил., цв. ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-97060-741-1

5. Рэдвуд, Бен. 3D-печать : технологии, дизайн и применение : практическое руководство / Бен Рэдвуд, Филемон Шофер, Брайан Гаррэт ; предисловие Тони Фаделла ; пер. с англ. М. А. Райтмана. - Москва : ДМК Пресс, 2020. - 219 с. : ил., табл., цв. ил.; 24 см.; ISBN 978-5-97060-738-мы

6. Карякин, Николай Николаевич. 3D-печать в медицине / Н. Н. Карякин, Р. О. Горбатов ; Ассоциация специалистов по 3D-печати в медицине, Приволжский исследовательский медицинский университет. - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2019. - 235 с. : ил., табл., цв. ил.; 21 см.; ISBN 978-5-9704-5163-2



7. <https://3dtoday.ru> Обзор пластика для 3D принтера WAX BASE, как печатать воском на Picaso 3D Designer X

8. Запорожан Д.Ю., Зайцев Д.А., Канатов А.В. Особенности раскрытия специальных композитных материалов точечным режущим инструментом Сборник научных трудов: Международный научно-технический симпозиум «Повышение энергоресурс-эффективности и Экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности», Посвященный 110-летию А.Н. Плановского (ISTS «EESTE-2021») III Между-народного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук»

9. Запорожан Д.Ю., Канатов А.В. Приспособление к станку с ЧПУ для нанесения композитных материалов. Патент на полезную модель 201220 U1, 03.12.2020. Заявка № 2020129924 от 10.09.2020.

© Запорожан Д.Ю., Канатов А.В., 2022

УДК 004.896

## К ВОПРОСУ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦА АНТРОПОМОРФНЫМ РОБОТОМ

Кагин Р.А., Захаркина С.В.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В данной статье рассмотрен способ распознавания лиц, который может быть использован антропоморфным роботом.

Среднестатистический человек может идентифицировать знакомое лицо в толпе с точностью 97,53%. Но это ничто по сравнению с современными алгоритмами, которые добились точности 99,8% еще в 2014 году. Современный алгоритм, использующийся в камерах видеонаблюдения в Москве, способен обрабатывать 1 миллиард изображений менее чем за полсекунды с точностью близкой к 100%. Распознавание лица работает в 5 этапов.

1. Этап обнаружения. На данном этапе для обнаружения лица используется метод Виолы-Джонса. Данный алгоритм сканирует изображение с помощью примитивов Хаара (рис. 1).

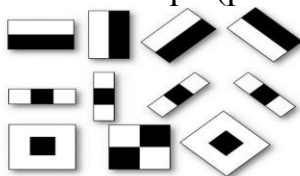


Рисунок 1 – Примитивы Хаара

Задача этих объектов – находить более светлые и темные области на изображении, характерных конкретно для человеческих лиц.

После обнаружения лица алгоритм переходит во второй этап.

2. Антропометрические точки. На данном этапе алгоритм расставляет на лице антропометрические точки, по которым впоследствии и будут вычисляться индивидуальные характеристики человека: разрез глаз, форма носа, подбородка, расстояние между ними и прочее. Таких признаков может быть много, вплоть до нескольких тысяч. Но в целом, таких точек должно быть, как минимум 68.

3. Исправление искажений. Система производит дополнительное преобразование изображения: устраняется поворот и наклон головы. А также проводится 3D-реконструкция лица из 2D-изображения.

4. Вектор лица. По сути, это просто какое-то число, которое складывается из суммы характеристик лица: расстояний между опорными точками, текстуры определенных областей на лице и прочее. Основное правило: они должны описывать лицо независимо от посторонних факторов: макияжа, прически, возрастных изменений.

5. Идентификация. Система сравнивает полученные данные с базой, данной для идентификации личности.

Было принято решение внедрить данную технологию в антропоморфного робота. Ниже представлен программный код для распознавания лица, который впоследствии будет использован в антропоморфном роботе.

```
#!/usr/bin/env python3
import numpy as np
import cv2
# multiple cascades:
https://github.com/Itseez/opencv/tree/master/data/haarcascades
faceCascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades +
'haarcascade_frontalface_default.xml')
eyeCascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades +
'haarcascade_eye.xml')
smileCascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades +
'haarcascade_smile.xml')
cap = cv2.VideoCapture(0)
#cap.set(3,640) # set Width
#cap.set(4,480) # set Height
while True:
    ret, img = cap.read()
    #img = cv2.flip(img, -1)
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    faces = faceCascade.detectMultiScale(
        gray,
        scaleFactor=1.3,
```

```
    minNeighbors=5,  
    minSize=(30, 30)  
)  
for (x,y,w,h) in faces:  
    cv2.rectangle(img,(x,y),(x+w,y+h),(255,0,0),2)  
    roi_gray = gray[y:y+h, x:x+w]  
    roi_color = img[y:y+h, x:x+w]  
    eyes = eyeCascade.detectMultiScale(  
        roi_gray,  
        scaleFactor= 1.5,  
        minNeighbors=5,  
        minSize=(5, 5),  
    )  
    for (ex, ey, ew, eh) in eyes:  
        cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey), (ex + ew, ey + eh), (0, 255, 0), 2)  
        smile = smileCascade.detectMultiScale(  
            roi_gray,  
            scaleFactor= 1.5,  
            minNeighbors=15,  
            minSize=(25, 25),  
        )  
        for (xx, yy, ww, hh) in smile:  
            cv2.rectangle(roi_color, (xx, yy), (xx + ww, yy + hh), (0, 255, 0), 2)  
cv2.imshow('video', img)  
k = cv2.waitKey(30) & 0xff  
if k == 27: # press 'ESC' to quit  
    break  
cap.release()  
cv2.destroyAllWindows()
```

С помощью данного кода, камера, установленная на антропоморфном роботе, сможет передавать картинку на основную плату, где будет происходить сверка с базой данных для последующего распознавания лица.

Распознавание лица поможет в создании системы «свой/чужой», благодаря которой можно ограничить круг лиц, имеющих право отдавать команды. Также распознавание лица поможет настроить более «личный» контакт между роботом и человеком.

#### **Список использованных источников:**

1. Как работает распознавание лиц? [Электронный ресурс] Режим доступа <https://habr.com/ru/company/droider/blog/568764/> (дата обращения 12.03.2022).

2. Марчук Н.С., Косимов С.С., Захаркина С.В., Власенко О.М. К вопросу разработки мобильного робота андроидного типа. Сборник

научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники. Сборник статей. Под редакцией Е.А. Рыжковой. Москва: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. С.76-81

3. Кагин Р.А. (Научный руководитель: Захаркина С.В.) Алгоритмы управления антропоморфным роботом с помощью голосового интерфейса // Международный молодёжный конкурс научных проектов «Стираем границы»: сборник материалов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. – С. 146-150

© Кагин Р.А., Захаркина С.В., 2022

**УДК 681.39**

## **ПОИСК КОНТУРОВ ЗАГОТОВКИ ИЗ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ В ПРОЦЕССЕ РАСКРОЯ МЕТОДОМ КАДРОВОЙ РАЗНИЦЫ**

Казанцева А.М., Рыжкова Е.А.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В современной промышленности все чаще находят применение различные системы машинного зрения. Причин растущей популярности подобных систем много. Свою роль играют и дешевизна компонентов системы, и универсальность применения, и гибкость настройки в различных условиях, а также многие другие факторы [1].

В числе прочих отраслей производства, подобные системы также находят свое применение и в кожевенной промышленности. Наиболее часто подобные системы используют в сфере раскроя натуральных кож. На современном рынке представлено множество комплексов, использующих описанные технологии, например комплекс «Taurus II» компании «Gerber Technology», «FlashCut FC222» компании «Atom» и многие другие. Актуальность их применение в процессе раскроя обусловлена необходимостью получения контура каждой используемой заготовки натуральной кожи. Форма самой кожи при этом может быть абсолютно разной, а получение электронной модели необходимо для выполнения раскладки (подбора оптимального расположения лекал на куске кожи для его рационального использования).

Для получения модели контура в первую очередь необходимо отфильтровать данные, не имеющие отношение к объекту.

Для выбора наиболее подходящей методики фильтрации данных осуществим анализ результатов, получаемых различными способами, и выберем наиболее подходящий в данных условиях.

Большинство современных алгоритмов по детектированию границ на изображении основано на выделении контрастных точек цифрового изображения [2]. Сложность поставленной задачи заключается в том, что производить поиск объекта приходится и на фоне рабочей области станка, которая может быть не отличима от цвета самого объекта. Это существенно усложняет процесс поиска объектов.

Возможность создания серии снимков в процессе рабочего цикла системы позволит получить представление о фоне, и при анализе объекта использовать полученную информацию для поиска отличий.

Отличия фотографии фона от фотографии объекта и будет представлением об объекте.

Для реализации рассматриваемого алгоритма требуется следующее.

1. Одинаковая освещенность. Как уже было сказано, необходимо создать две фотографии: фотографию фона и фотографию объекта на данном фоне. Обе фотографии должны быть сделаны при одном и том же освещении. В противном случае они могут существенно отличаться друг от друга.

2. Стационарное положение камеры. При изменении положения фотоаппарата снимки будут не одинаковы.

3. Идентичные параметры настроек камеры. Необходимо исключить функцию автоматической подстройки яркости, контрастности и баланса белого текущего снимка.

4. Одинаковые размеры снимков. При изменении параметров разрешения получаемой картинки, изменяется общее количество пикселей снимка. При этом становятся невозможны математические операции над массивом значений пикселей.

Цифровое изображение представляет собой матрицу определенной величины со значением уровня цветового оттенка для каждого элемента. Имея изображение искомого объекта и изображение, на котором представлен только фон, сделанные в одинаковых условиях, можно выделить необходимую информацию об объекте путем обычной разности матриц данных этих изображений. Формулу получения каждого элемента результирующей матрицы можно представить:

$$N(R, G, B) = N(|S(R) - O(R)|, |S(G) - O(G)|, |S(B) - O(B)|)$$

где  $R, G, B$  – значения цветовых каналов изображений (красного синего и зеленого соответственно),  $N$  – пиксель получаемого изображения,  $N$  – пиксель представления фона,  $S$  – пиксель изображения с объектом.

Полученный результат предоставляет собой цветное изображение, представляющей собой разницу между пикселями во всех трех цветовых каналах, взятую по модулю. Пример исходного изображения и получаемого результата представлен на рис. 1.

Использование подобного метода позволяет наиболее успешно выделить необходимые данные из получаемых изображений, применяя наименьшее количество простых арифметических операций. Это в корне отличает предлагаемую методику от аналогичных алгоритмов компьютерного зрения.

Для иллюстрации характера получаемых данных предлагается использовать графики значений пикселей, взятых на определенной прямой изображения. При построении графика по оси  $y$  откладываются значения всех трех цветов пикселей каждого изображения. По оси  $x$  – номер соответствующего пикселя. Для построения используется ряд указанного количества пикселей от точки с заданными координатами. Примеры подобных графиков для трех цветовых составляющих изображения представлены на рис. 2. Линия, по которой используются значения для построения, представлена на рис. 3.

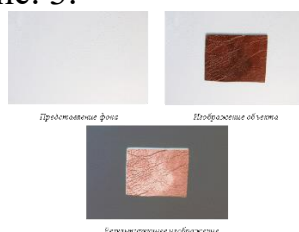


Рисунок 1 – Пример исходного изображения и получаемого результата

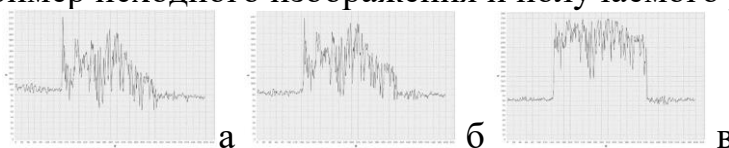


Рисунок 2 – Графики значений пикселей результирующего изображения, взятых на определенной прямой изображения: а) синий цветовой канал; б) зеленый цветовой канал; в) красный цветовой канал

В таком формате хорошо виден характер получаемых данных. Из-за технических особенностей используемых сканирующих устройств, получаемый результат обладает множеством различных помех, поэтому необходима дальнейшая обработка.

Один из самых распространённых способов сегментации данных изображений – бинаризация изображений с помощью порогового преобразования. Порог – это признак (свойство), который помогает разделить искомый сигнал на классы [3].

Операция порогового разделения заключается в сопоставлении значения яркости каждого пикселя изображения с заданным значением порога. Пороговая обработка также позволяет отсеивать помехи на изображении с коэффициентом пикселей меньше указанного порога. В рассматриваемой методике подбор определённого значения порога позволяет устранить помехи предыдущего шага и влияет на точность восприятия линий контура объекта (позволяет сгладить контур). Пример

результатов, после применения порогового преобразования представлен на рис. 4.

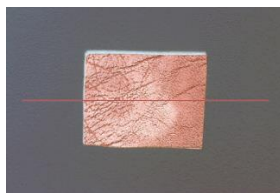


Рисунок 3 – Прямая, по которой берутся значения пикселей



Рисунок 4 – Результат применения порогового преобразования

Как видно на изображении, подобным способом можно достаточно точно выделить объект на фоне рабочей области станка, предварительно получив представление о самой рабочей области в системе сканирования. Подобный расчет достаточно прост, по сравнению с другими применяемыми методами выделения краев, что позволяет существенно сократить время обработки каждой заготовки исходного материала.

#### **Список использованных источников:**

1. Дятлов, Е. Машинное зрение (аналитический обзор) / Е. Дятлов // Математические машины и системы. – 2013. – № 2.
2. Алгоритмы распознавания объектов / А. А. Цветков, Д. К. Шорох, М. Г. Зубарева [и др.]. – Текст: непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. – С. 20-28.
3. Мартынов И. А. Разработка программного обеспечения для промышленной видео системы // Молодой ученый. – 2011. – №8. Т.1.

© Казанцева А.М., Рыжкова Е.А., 2022

**УДК 681.58**

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММ NX – TIA PORTAL ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКОМ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ**

Калачев Н.М., Казначеева А.А.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В настоящее время актуальность цифровых двойников производственных процессов не вызывает сомнений. Данный факт

обусловлен тем, что такое решение позволяет оптимизировать процессы, исключая пуско-наладку на реальном оборудовании, что значительно упрощает процедуры проектирования и наладки производства, приводит к минимизации затрат и повышению качества продукции. Для создания цифровых двойников наибольшей популярностью пользуются программы компании Siemens, такие как NX, TIA Portal, PLCSIM и другие. Они достаточно просты в освоении и обладают широким функционалом, благодаря чему становится возможным создавать максимально точные цифровые копии реальных физических объектов и при этом не сильно нагружать аппаратную часть персональных компьютеров.

Чтобы создать цифровой двойник какого-либо технологического процесса или целого производства, особенно для проведения пуско-наладочных работ, используют программы NX и TIA Portal в связке с PLCSIM Advanced 3.0. Каждая из них имеет собственное предназначение. NX-пакет программ, используемый для прорисовки модели, задания ей динамических свойств и дальнейшей отработки программы управления. TIA Portal – среда программирования для ПЛК. PLCSIM Advanced 3.0 – симулятор контроллера Siemens, такой модели как S7-1500 или ET200SP. Благодаря встроенным функциям NX, PLCSIM и TIA Portal могут быть связаны в единую сеть и использоваться в качестве программного комплекса для тестирования оборудования или проведения пуско-наладочных работ.

Создание цифрового двойника начинается в программе NX, в которой будет создана цифровая копия реального объекта или устройства, а затем динамизирована и подключена к виртуальному контроллеру для запуска программы управления. Важным преимуществом NX является возможность подключения не только к виртуальным ПЛК PLCSIM, но также к другим устройствами, поддерживающим протокол связи OPC. Так, например можно подключить цифровой двойник уже существующего производства к реальному контроллеру и провести пуско-наладку на модели.

На первом этапе в программе NX создается 3D-модель производственной установки или объекта. Так называемая «сборка» производится благодаря объединению «деталей», которые необходимо создавать отдельно и только после составлять единую модель. Данный подход обусловлен возможными наложениями динамики и других свойств на каждую отдельную деталь. Затем проводится объединение модели перемещением деталей на необходимые позиции. Задание кинематических свойств для данной модели производится при помощи инструментов «Rigid Body», «Collision Body», «Transport Surface» и «Speed Control». Так же необходимо задать «Fixed Joint» или «Фиксированное соединение», чтобы конвейер зафиксировался в пространстве. После всех преобразований кинематическая модель имеет следующие характеристики (рис. 1).



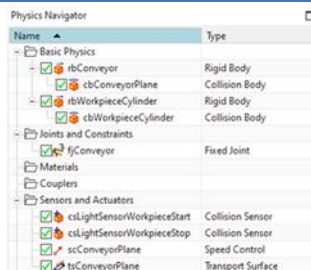


Рисунок 1 – Характеристики динамической модели конвейерной ленты в программе NX

На втором этапе, осуществляется реализация соединения или интерфейса между программами NX и TIA Portal. Для этого в динамическую модель конвейерной ленты, созданной ранее, добавляется таблица сигналов (рис. 2), которая позволяет интегрировать модель в среду программирования ПЛК.

На следующем шаге, для того чтобы настроить интерфейс NX – TIA Portal необходимо запустить среду программирования ПЛК и PLCSIM Advanced 3.0.

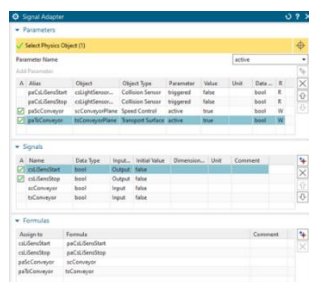


Рисунок 2 – Окно таблицы сигналов в программе NX

Программа для управления конвейером написана в TIA Portal. Она предусматривает три режима управления: 1) автоматический, 2) ручной, 3) стоп. В автоматическом режиме ПЛК отслеживает размещение детали на позицию датчика S1, при срабатывании которого начинается движение конвейера. Как только сработает датчик S2, движение конвейера останавливается и подается сигнал на включение механической руки робота, который далее будет передавать заготовку в станок. В данной модели отрабатываются действия ручного режима, которыми проверяется работа датчиков S1 и S2, а также функционирование команды движения конвейера «вперед» (рис. 3).

Для функционирования программного кода необходимо активизировать PLCSIM Advanced. В настройках ПЛК задается канал связи в виде имени экземпляра конвейерной ленты, через который будет проходить соединение между NX и TIA Portal (рис. 4).

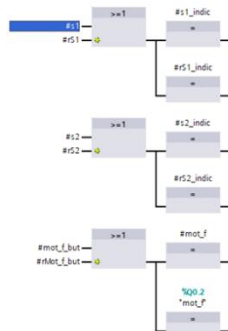


Рисунок 3 – Программа управления конвейером в TIA Portal

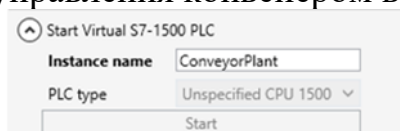


Рисунок 4 – Создание канала соединения

После создания канала при помощи инструмента «Signal Mapping» настраиваются сигналы контроллера и NX MCD для управления соответствующими элементами модели. Связанные сигналы показаны на рис. 5.

Connection Name	MCD Signal Name	DL	External Signal Name	Owner Component	Message
✓ PLC5M Adv...ConveyorPlant					
✓ saConveyorPlant_cslSensStart_s1	cslSensStart	→	s1		
✓ saConveyorPlant_cslSensStop_s2	cslSensStop	→	s2		
✓ saConveyorPlant_tsConveyor_mo...	tsConveyor	←	mot_f		
✓ saConveyorPlant_scConveyor_ma...	scConveyor	←	manual_mode_indic		

Рисунок 5 – Настройка сигналов для ПЛК

На рис. 6 показаны результаты работы программ NX и TIA Portal после старта симуляции. На них можно наблюдать срабатывание датчиков S1 и S2, а также движение заготовки при нажатии на кнопку «Mot\_f» на конвейерной ленте.

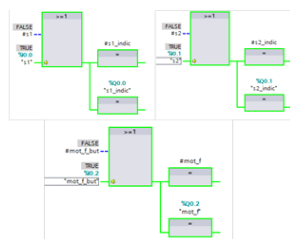


Рисунок 6 – Результат работы программы в TIA Portal

Реализованный интерфейс в дальнейшем будет применяться при создании имитации работы станочного участка металлообрабатывающего производства с использованием станков и мехатронного устройства при автоматическом управлении технологическим процессом.

#### Список использованных источников:

1. Establishing a WinCC cloud connection to SIEMENS MindSphere, Amazon AWS and Microsoft Azure. – SIEMENS, 2020. – 10 с.
2. NX for Design [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/nx-for-design.html>.
3. Калачев Н.М., Методика соединения WINCC со средой

программирования UNITY3D с применением облачных технологий. /Сборник материалов Молодежного конкурса научных проектов «Стираем границы». Москва, – 2021. – С. 154–157.

4. Программное обеспечение в TIA Portal [Электронный ресурс] / Режим доступа:  
<https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/industry-software/automation-software/tia-portal/programmnoe-obespechenie.html>

© Калачев Н.М., Казначеева А.А., 2022

**УДК 677.052-185**

**КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ  
АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Кульчак В.В., Нурсахедов М.М., Поляков А.Е., Иванов М.С.  
*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В настоящее время асинхронные электродвигатели являются потребителями более 70% всей электроэнергии в стране. Опыт эксплуатации электродвигателей свидетельствует о большом количестве отказов, происходящих по причине аварийных ситуаций. Аварийность ежегодно составляет 25% и более. Выход из строя электродвигателя наносит большой ущерб. В основном этот ущерб связан с простым технологического оборудования или порчи продукции вследствие аварии двигателя. Дополнительно к убыткам добавляется снижение электро- и пожаробезопасности, связанное с возможными короткими замыканиями которые могут присутствовать в обмотке статора или ротора поврежденного электродвигателя.

Общепринятые средства защиты не обеспечивают сохранность электродвигателя и снижают вероятность возникновения лишь некоторых из вышеперечисленных случаев. Поэтому возникает потребность диагностики состояния электродвигателя в процессе его работы, т.е. функциональной диагностики. Обнаружение дефектов в работающем электродвигателе на ранней стадии их развития не только предупредит внезапную остановку производства в результате аварии, но и значительно снизит расходы на ремонт электродвигателя и увеличит срок его службы. Кроме этого, в настоящее время достаточно актуально применение адаптивных устройств защиты и диагностики, позволяющих выполнять диагностику электродвигателей независимо от их мощности и конструкции.

Современные системы и методы диагностики электрооборудования можно разделить на две группы.

К первой группе относятся методы тестовой диагностики, требующие формирования искусственных возмущений, воздействующих на изучаемый объект: измерение сопротивления изоляции, токов утечки, внутреннего сопротивления обмоток, тангенса угла диэлектрических потерь обмоток, метод высоковольтного импульса и др.

Вторая группа включает в себя методы оперативной или функциональной диагностики, используемые в первую очередь для электрооборудования, являющегося источником естественных возмущений в процессе работы. Кроме этого каждая группа делится на две других – это методы, позволяющие выявить неисправность электрооборудования в целом и методы, выявляющие и локализирующие конкретную неисправность или дефект в электрооборудовании [1].

Наиболее эффективным методом является использование программно-аппаратного комплекса, который изображен на рис. 1, состоящего из компьютера и цифрового устройства-посредника, производящего необходимые измерения и передаваемого их в компьютер. В качестве измеряемых электрических величин могут быть оперативный ток, потребляемая мощность и т.д. Программа, выполняемая на компьютере, должна, в свою очередь, определенным образом обработать входную информацию и определить наиболее вероятный вид повреждения работающего электродвигателя или сделать заключение об его исправности. Этот метод наиболее эффективен, так как позволяет хранить на компьютере большие базы данных с информацией об отслеживаемой динамике повреждений электродвигателя с последующим прогнозированием выхода его из строя.

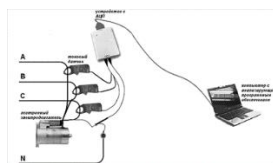


Рисунок 1 – Диагностический программно-аппаратный комплекс

Кроме этого, компьютер является более мощным средством обработки информации, чем микроконтроллер, что, в частности, позволяет использовать современные технологии, в том числе и технологии искусственного интеллекта, такие как использование искусственных нейронных сетей, нечеткой логики и экспертных систем.

В настоящее время широко используются математические модели нейронных сетей. Графически такие модели изображаются в виде графа, показанного на рис. 2. На данном рисунке изображена простейшая многослойная нейронная сеть прямого распространения, которую также называют персептроном. Существуют также и другие модели нейронных сетей, среди которых наиболее часто используются рекуррентные сети

Хопфилда и самоорганизующиеся сети Кохонена. Прямоугольники представляют собой тела нейронов, исходящие и входящие стрелки – дендриты, а точки, в которых стрелки заходят и точки, из которых стрелки исходят – это соответственно синапсы и аксоны. Круги на рисунке – условные входа нейронов, которые просто распределяют входящие значения по всем нейронам сети. В математической модели нейрона все входящие стрелки имеют веса, а на выходе обычно вычисляется нелинейная функция от средней суммы этих весов с некоторыми дополнительными арифметическими действиями.

Были разработаны также и другие модели нейронов и нейронных сетей, например, электрические. Однако из-за своей непрактичности они не получили большого распространения.

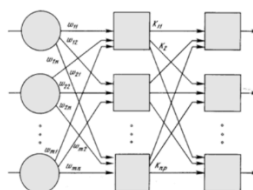


Рисунок 2 – Графическое представление математической модели нейронной сети прямого распространения

Для использования нейронной сети прямого распространения при решении конкретной задачи, ее необходимо сначала «обучить». Для этого на вход нейронной сети подаются какие-либо значения, а на выходе снимаются результирующие значения, которые сравниваются с теми значениями, которые должны там быть. Если выходные значения нейронной сети отличаются от требуемых значений, то происходит оптимизация весов нейронной сети каким-либо из математических алгоритмов до тех пор, пока эти значения не будут им соответствовать с заданной точностью. После этого нейронную сеть можно считать обученной.

Нейронные сети дают возможность эффективно определять причину и виды повреждения асинхронных электродвигателей, работать с зашумленными данными, избавляя от необходимости применения промежуточных электронных фильтров от помех или фильтрации математическими методами, а также адаптироваться к конкретному типу электродвигателя. Кроме этого, искусственные нейронные сети широко используются в задачах прогнозирования.

Помимо выбора алгоритмов обработки сигнала и определения способа диагностики асинхронных электродвигателей необходимо разработать аппаратную часть программно-аппаратного диагностического комплекса. При этом очень важно выбрать недорогую компонентную базу для его реализации, определяющую себестоимость комплекса в размере не более чем 10% от стоимости самого электродвигателя.

В настоящее время ведутся разработки программно-аппаратного комплекса. В реализации программной части комплекса используется метод анализа сигнала полной потребляемой мощности электродвигателя на каждой фазе искусственной нейронной сетью, определяющий вероятность присутствия какого-либо повреждения, как в электрической, так и в механической части электродвигателя. Для этого нейронную сеть прямого распространения планируется использовать для идентификации зависимости полной мощности от времени, либо для идентификации спектра гармоник сигнала полной потребляемой мощности на одном периоде. Сначала выполняется определение периода сигнала, после чего отрезок, на котором сигнал длится в течение предварительно определенного периода, масштабируется по ширине, а значения амплитуды полной мощности нормируются относительно значения номинальной мощности электродвигателя. Таким образом, будут анализироваться процентные изменения мощности. Для их анализа полученный график разбивается на равномерные промежутки, количество которых зависит от быстродействия измерительного устройства и частоты вращения ротора электродвигателя [2].

**Список использованных источников:**

1. Коваль А.С. К использованию нечеткой логики в задачах управления АД. / А.С. Коваль, А.Ю. Шубин. – «Изв. вузов. Энергетика» – № 4. – 2001. – С.49-53.
2. Иванов М.С., Поляков А.Е. Применение интеллектуального управления сложными зонами деформации волокнистых материалов в многомерных динамических системах технологического оборудования: монография. Под редакцией профессора А.Е. Полякова. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина». – 2020. – 201 с.

© Кульчак В.В., Нурсахедов М.М.,  
Поляков А.Е., Иванов М.С., 2022

**УДК 004.384**

**УМНЫЙ ДОМ: ТЕХНОЛОГИИ, ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ**

Лаврентьев О.М.

Научный руководитель Алексеев И.П.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Казань*

В данной работе представлена концепция «Умный дом», которая способна помочь совершить эксплуатацию вашего дома, наиболее удобной и предельно автоматизировать работу разных технических систем. Основа деятельности данных систем и в чем непосредственно заключается

практичность в их эксплуатации. В статье представлены разнообразные технические системы и способы использования технологий для них.

Умный дом – это интеллектуальная система, которая позволяет выводить результативность манеры жизни на новейшую ступень удобства, которая состоит из интегрированных в единое информационное пространство систем, с целью результативного функционирования отраслей здания и уменьшения рабочих затрат. Другими словами, умный дом – это цифровизация домашних приборов, объединение их в общую систему, которая способна как к автоматическому поддержанию подходящих характеристик, так же к изменению команде удаленного характера [1].

Единый принцип деятельности «умного дома» состоит в следующем: сведения от сенсорных датчиков направляются в главный компьютер, обрабатывающий приобретенные данные и передает указания для распоряжающихся приборов.

Все функции «умного дома» возможно разбить на основные и дополнительные. Основные функции содержат руководство освещением в комнатах, контроль над водоснабжением, канализацией и иными техническими системами здания, а также охрану от аварийных обстановок в таком случае имеется автоматическое включение предохранительных и защитных элементов [2].

Экосистема умного дома, как правило, учитывает наличие трех устройств:

1. Контроллер – прибор, соединяющее все без исключения компоненты умного дома в общее целое и разрешающее удаленно регулировать деятельность системы.

2. Датчики и сенсоры. Данные элементы дают системе сведения о внешних характеристиках, в этом числе температура воздуха, присутствие перемещений или дыма, степень освещения, герметичном закрытии окон и дверей.

3. Исполнительные устройства (актуаторы). Наиболее большая группа устройств, которая несет ответственность за реализацию разных указаний и управление определенными бытовыми устройствами. К актуаторам можно отнести умные розетки, выключатели и диммеры, клапаны для труб, разнообразные реле, климат-контроллеры и многое другое [3].

Более значимыми компонентами умного дома считаются концепции отопления, проветривания, также кондиционирования. Сведения системы призваны, чтобы поддерживать комфортные для жизни температуру, влажность и чистоту воздуха, а также, что важно, экономить электроэнергию. Объединение этих систем в один автоматизированный комплекс было одной из первых задач реализации концепций умного дома. От системы отопления, проветривания и кондиционирования непосредственно зависит состояние здоровья людей в доме, по этой причине

для данных систем более важны не только работоспособность и практичность применения, но и устойчивость деятельности.

Один из основных положительных сторон концепции умного дома, считается общее приложение, которое соединяет в себе руководство целой концепцией. В нее вступают подобные тенденции, такие как видеонаблюдение, управление и контроль энергосбережения, управление освещением, контроль и защита от протечки, охранно-пожарная система, управление климатом, управление бытовой техникой. Любое из них имеет ряд своих преимуществ.

Концепция «Умный дом» предоставляет изобилие положительных сторон, от комфортабельности вплоть до высшей безопасности. Не обязательно приобретать набор на целое здание. Концепция дает возможность подбирать приборы со временем, сначала можно поставить только лишь систему сигнализации, видеонаблюдение, а после и датчики температуры, влажности и освещения [4].

Технология умный дом обладает соответствующими достоинствами:

1. Существенное сбережение электричества. Сначала формируется представление о том, что вся система складывается из технологического оборудования. Но, непосредственно из-за этого возникает шанс экономить на затратах, используя разнообразные методы уменьшения электропотребления.

2. Прочная система безопасности. Система оповестит не только лишь об вторжении в жилье посторонних людей, а также насчёт возникновения пожара, потопа, но кроме того об выходе за пределы здания лиц в неопределенных для данного периода.

3. Удобство проживания. Концепция удерживает удобную среду обитания в каждый момент, в летний сезон жилье гарантирует свежесть, в зимнее время – тепло, воздух не пересушен от основного отопления. Повседневные домашние операции больше не будут отнимать такого большого количества времени, работу на себя примет система, освободив вас от собственных занятий.

4. Легкость сервиса. Руководство умным домом открыто любому старшему члену семьи, специализированные познания и навык для этого никак не потребуются.

Проанализируем недочеты технологии умный дом:

1. Большая цена снабжения. Значительный недостаток конструкции концепции умный дом – цена оснащения. Но этот минус крайне необъективен, так как концепция способна складываться для любого здания из собственного числа технических решений. Целиком оснащенный и автоматизированный дом встанет владельцу в несколько миллионов рублей.

2. Возможные перебои в работе системы. Такая картина не исключена, так как разработка находится в зависимости от техники и ее сервиса. Для



того чтобы уменьшить опасности подбирайте достоверных изготовителей, предоставляющих полную гарантийное обеспечение в оборудование.

3. Вероятность потери личных сведений. Сведения, заложенные в концепции, смогут заполучить преступники. По этой причине нужно весьма серьезно посмотреть систему охраны. Не забывайте, то что данному риску подвергается любой пользователь всемирной сети [5].

С поддержкой системы «умного дома» возможно охватывать освещение и гаджеты в каждой комнате, пребывая за пределами здания, но кроме того являться в курсе различных нештатных обстановок наподобие протечки стиральной машины либо задымления здания. Невзирая на разнообразные выполнения, системы «умного дома» разных изготовителей обладают похожие особенностями и действуют согласно общим правилам [4].

Следя за направленностью формирования технологических процессов «Умный дом», возможно выработать предсказывание о том, каким станет умный дом спустя 5 лет:

1. Умные дома приобретут целиком голосовое руководство на наиболее известных языках.

2. Умные дома будут регулировать абсолютно все электропитание, но кроме того корректировать электроотопление и подачу воды.

3. Все домашнее оборудование в здании будет введено в умный дом.

4. Умный дом станет осуществлять почти все без исключения охранные функции, в том числе наблюдение.

5. Умные дома сменяют семейные индивидуальные компьютеры. Они объединятся в общий единый механизм [5].

На данный момент «умный дом» – один из современных достижений в технической сфере. Основная задача такой автоматизации дома – удобство, так как помнить и выполнять множество маленьких и не только бытовых дел – от температуры и поддержания влажности – на это нужно не только лишь время, а также непрерывное внимание жителей, не говоря уже о необходимой безопасности. Умный дом придуман, для того чтобы добавить комфорта, решая за них повседневные обыденные функции, экономя нам лишние минуты жизни, разрешая совершить упор на каком-то наиболее нужном деле. Подводя итог, мы можем сделать вывод, что система умного дома – это более удобный комплекс управления зданием.

#### **Список использованных источников:**

1. Полищук Е.И. / Актуальность применения системы "умный дом" в индивидуальном жилом доме / Молодые ученые - развитию национальной технологической инициативы- 2019. № 1-2. - С. 205-207.

2. Серебряник И.А., Дружинина Т.Я. / Интеллектуальные системы в российских домах ("умный дом"): роскошь или возможность экономии /

Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук - 2010. – С. 109-111.

3. Якшина А.А. Стиль хай-тек при проектировании жилых домов в системе умный дом - Образование. наука. Производство. XIII Международный молодежный форум. Белгород – 2021. С. 376 – 381.

4. Шнурникова Е.П., Лагода Р.А., Горбачев А.Ю. / Значимость технологии "умный дом" / Тенденции развития науки и образования - 2022. № 81-1. - С. 149-151.

5. Пиликина Е.А., Васяткин М.А., Белоус К.В. / Технология "Умный дом" / Инновации. Наука. Образование - 2021. № 31. - С. 518 - 525.

© Лаврентьев О.М., 2022

УДК 681-54:621.316.7

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАЛАНДРА КАК ОБЪЕКТА АСР

Окорочкова О.А., Власенко О.М.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Каландрирование – это процесс обработки и формования полимерных материалов на специальном оборудовании, каландре. Каландры используются для создания пленок и листов и для покрытия полимером какой-либо основы. Основными деталями каландра являются металлические пустотелые валки, вращающиеся навстречу друг другу, охлаждающиеся водой или обогревающиеся паром, а в данном случае теплопроводным маслом. Полимерный материал перерабатывается на каландрах определенным образом: материал непрерывно подается на каландр и проходит через каждый его валок.

В данной работе рассматривается математическая модель 4-х валкового Г-образного каландра для переработки ПВХ смесей в пленки, которую можно будет использовать и перерабатывать несколько раз. Применение средств автоматизации позволяет снизить процент брака и сократить временные расходы на калибровку, а также значительно сократить финансовые затраты, создать универсальное оборудование, сделать его более эргономичным. Для увеличения энергоэффективности и сокращения брака необходимо регулировать величину зазора между валками и температуру валков.

Обогрев валка каландра производится техническим маслом, которое нагревается ТЭНом в специальной емкости. Управляющее воздействие – мощность питания, подводимая к ТЭНу, выходной параметр – температура валка. Температура масла – промежуточная переменная. Мощность питания,

подводимая к ТЭНу от устройства нагрева масла (УНМ), расходуется на изменение состояния масла по температуре и на нагрев потока масла.

Пластифицированная в смесителях и валках ПВХ пленочная масса подается в зазор между верхними валками. Пройдя средний и нижний валки, масса вальцуется в пленку заданной толщины. На верхний валок подается масло, чтобы избежать преждевременного застывания массы, а нижний охлаждается водой, чтобы на выходе получить полностью застывшую пленку.

Для получения модели аналитическим способом рассмотрим уравнение теплового баланса:  $Q_{\text{пит}} = c_m m_m \frac{d\theta_m}{dt} + F_m c_m \rho_m (\theta_m - \theta_{\text{мн}})$  (1), где  $c_m$  – удельная теплоёмкость масла, кДж/кг·°С;  $\rho_m$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $F_m$  – расход масла, м<sup>3</sup>/с;  $m_m$  – масса масла, кг;  $\theta_m$  и  $\theta_{\text{мн}}$  – соответственно текущая и начальная температура масла, °С.

Проведя преобразование, введя обозначения, получим постоянную времени объекта по температуре масла:  $T_m = \frac{c_m m_m}{F_m c_m \rho_m}$  (2) и коэффициент передачи объекта по температуре масла:  $k_m = \frac{1}{F_m c_m \rho_m}$  (3).

Таким образом, передаточная функция объекта по температуре масла имеет вид:  $W_m(p) = \frac{\Delta\theta_m(p)}{\Delta Q_{\text{пит}}(p)} = \frac{k_m}{T_m p + 1} = \frac{0.08}{18.2p + 1}$  (4).

Тепловая мощность, передаваемая от масла валку каландра, расходуется на изменение температуры валка каландра  $\theta_k$ , на нагрев пленки на поверхности каландра  $\theta_{\text{пл}}$  за счет теплообмена теплопроводностью и на потери в окружающую среду.

Уравнение теплового баланса валка каландра имеет вид:

$S_{\text{МК}} \alpha_{\text{МК}} (\theta_m - \theta_k) = c_k m_k \frac{d\theta_k}{dt} + S_{\text{пл}} \frac{\lambda_{\text{пл}}}{b_{\text{пл}}} (\theta_k - \theta_{\text{пл}}) + S_{\text{мс}} \alpha_{\text{мс}} (\theta_k - \theta_{\text{ос}})$  (5), где  $S_{\text{МК}}$  – площадь теплоотдачи от масла валку каландра, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{\text{МК}}$  – коэффициент теплоотдачи от масла валку каландра, Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $S_{\text{пл}}$  – площадь теплопередачи от валка каландра пленке, м<sup>2</sup>;  $c_k$  – удельная теплоёмкость материала валка, кДж/кг·°С;  $\rho_k$  – плотность валка, кг/м<sup>3</sup>;  $m_k$  – масса валка, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_{\text{пл}}$  – теплопроводность пленки, Вт/м·°С;  $b_{\text{пл}}$  – толщина пленки, мм;  $S_{\text{мс}}$  – площадь теплоотдачи от валка каландра в окружающую среду, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{\text{мс}}$  – коэффициент теплоотдачи от валка каландра в окружающую среду, Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $\theta_{\text{ос}}$  – температура окружающей среды, °С.

Проведя преобразование, получим дифференциальное уравнение для температуры валка каландра в отклонениях. При этом принимаем, что изменения начальной температуры пленки  $\theta_{\text{пл}}$  и температуры окружающей среды  $\theta_{\text{ос}}$  носят случайный характер и рассматриваются как возмущающее воздействие, а их приращение рано нулю.

$T_K \frac{d\Delta\theta_K}{dt} + \Delta\theta_K = k_K \Delta\theta_M$  (6), где  $T_K$  – постоянная времени объекта по температуре валка каландра,  $k_K$  – коэффициент передачи объекта по температуре валка каландра:

$$T_K = \frac{c_K * m_K}{S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{b_{пл}} + S_{МС} \alpha_{МС} + S_{МК} \alpha_{МК}} \quad (7), \quad k_K = \frac{S_{МК} \alpha_{МК}}{S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{b_{пл}} + S_{МС} \alpha_{МС} + S_{МК} \alpha_{МК}} \quad (8).$$

Запишем передаточную функцию по температуре валка каландра:

$$W_K(p) = \frac{\Delta\theta_K(p)}{\Delta\theta_M(p)} = \frac{k_K}{T_K p + 1} = \frac{0.56}{931p + 1}. \quad (9).$$

Мощность на нагрев пленки на валке каландра  $Q_{пл}$ , расходуется на изменение температуры пленки и на потери в окружающую среду с поверхности пленки. Уравнение теплового баланса пленки на поверхности валка:  $S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{b_{пл}} (\theta_K - \theta_{пл}) = m_{пл} c_{пл} \frac{d\theta_{пл}}{dt} + S_{пл} \alpha_{плс} (\theta_{пл} - \theta_{ос})$  (10),

где  $m_{пл}$  – масса пленки, кг;  $\alpha_{плс}$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности пленки в окружающую среду, Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Проведя преобразования, получим дифференциальное уравнение для температуры пленки в отклонениях. При этом принимаем, что изменение температуры окружающей среды  $\theta_{ос}$  носит случайный характер и рассматривается как возмущающее воздействие, а его приращение рано нулю.

$T_{пл} \frac{d\Delta\theta_{пл}}{dt} + \Delta\theta_{пл} = k_{пл} \Delta\theta_K$  (11), где  $T_{пл}$  – постоянная времени пленки;  $k_{пл}$  – коэффициент передачи пленки.

$$T_{пл} = \frac{c_{пл} * m_{пл}}{S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{b_{пл}} + S_{пл} \alpha_{плс}} \quad (12), \quad k_{пл} = \frac{S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{b_{пл}}}{S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{b_{пл}} + S_{пл} \alpha_{плс}} \quad (13).$$

Передаточная функция по температуре для пленки:

$$W_{пл}(p) = \frac{\Delta\theta_{пл}(p)}{\Delta\theta_K(p)} = \frac{k_{пл}}{T_{пл} p + 1}. \quad (14).$$

При охлаждение валка водой тепловая мощность, забираемая водой, приводит к изменению состояния валка по температуре и забору тепла от пленки:  $S_{МК} \alpha_{в} (\theta_{в} - \theta_K) = c_K m_K \frac{d\theta_K}{dt} + S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{\delta_{пл}} (\theta_K - \theta_{пл})$  (15),

где  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи от валка каландра воде, Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Проведя преобразования, получим дифференциальное уравнение для температуры валка в отклонениях.

$T_{в} \frac{d\Delta\theta_K}{dt} + \Delta\theta_K = k_{в} \Delta\theta_{в}$  (16), где  $T_{в}$  – постоянная времени охлаждающей воды:  $T_{в} = \frac{c_K m_K}{S_{МК} \alpha_{в} + S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{\delta_{пл}}}$  (17);  $k_{в}$  – коэффициент передачи охлаждающей воды:

$$k_{в} = \frac{S_{МК} \alpha_{в}}{S_{МК} \alpha_{в} + S_{пл} \frac{\lambda_{пл}}{\delta_{пл}}} \quad (18).$$

Передаточная функция температуры валка по охлаждающей воде:

$$W_{в}(p) = \frac{\Delta\theta_K(p)}{\Delta\theta_{в}(p)} = - \frac{k_{в}}{T_{в} p + 1} = - \frac{0.98}{51.6p + 1}. \quad (19).$$

Знак минус указывает на то, что тепло забирается водой у валка каландра.

Для контура регулирования зазора между валками входной сигнал – напряжение в цепи якоря двигателей,  $U_B$ ; выходной регулируемый параметр – изменение зазора между валками,  $\delta$ , м.

Устройство механизма регулирования зазора устроено следующим образом: каждому валку индивидуально устанавливается по два механизма электродвигателя через червячный редуктор (2-х ступенчатый) приводит во вращение нажимной винт, который может перемещаться в осевом направлении в гайке, неподвижно закрепленной на станине каландра. Сферическая головка нажимного винта опирается на подпятник, который крепится к корпусу подшипника регулируемого валка.

Дифференциальное уравнение привода МРЗ имеет вид:

$T_{дв} \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{дв} U_B$  (20), где  $\omega$  – угловая скорость вращения нажимного винта, рад/мин;  $U_B$  – напряжение в цепи якоря двигателей, В;  $k_{дв}$  – коэффициент передачи двигателя.

В формуле коэффициента передачи двигателя  $c_e$  – электрическая постоянная:  $c_e = \frac{U_{ном} - I_{я} R_{я}}{\omega_{ном}}$ ,  $i$  – передаточное отношение:  $i = \frac{\omega_{ном}}{\omega_{зад}} = 350$ ,

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение, В;  $R_{я}$  – сопротивление обмотки якоря, Ом;  $I_{я}$  – ток якоря, А;  $\omega_{ном}$  и  $\omega_{зад}$  соответственно номинальная и заданная угловая скорость вращения нажимного винта:  $\omega_{ном} = 2 \pi n_{ном}$  рад/мин,  $n_{ном}$  – номинальная частота вращения, об/мин.

$\omega_{зад} = \frac{2 \pi v_{зад}}{h} = 18.85$  рад/мин, где  $v_{зад}$  – заданная линейная скорость подъема вала каландра. В формуле постоянной времени двигателя  $J$  – суммарный приведенный момент инерции якоря и нагрузки, кг·м<sup>2</sup>:  $J = J_{дв} + J_p + \frac{J_H}{i^2 \cdot \eta}$ , где  $J_{дв}$  – момент инерции ротора, кг·м<sup>2</sup>;  $J_p$  – момент инерции редуктора, кг·м<sup>2</sup>;  $\eta$  – КПД двигателя;  $J_H = m \cdot \frac{d_{нв}}{2}$ .

Таким образом, проведя расчет, получим передаточную функцию привода:  $W_{дв}(p) = \frac{0.2}{5.2p+1}$ . (21).

Найдем звено перехода от скорости поворота винта к зазору: вход  $\omega$  – выход  $\delta$ . 1 оборот нажимного винта составляет:  $l = \pi \cdot d_{нв}$  м. При этом вертикальное перемещение:  $\delta = h$ .

При частоте вращения  $n$  об/мин происходит вертикальное перемещение:  $\frac{d\delta}{dt} = nh = \frac{\omega h}{2\pi} = k_3 \omega$  (22).

Передаточная функция перехода:  $W_3(p) = \frac{k_3}{p}$  (23).

Передаточная функция зависимости температуры пленки от сжатия из-за изменения зазора между валками:  $W_{сж}(p) = k_{сж}$  (24), где  $k_{сж}$  – эмпирический коэффициент.

Найдем зависимость температуры пленки от деформации сдвига. Мощность деформации можно описать соотношением:

$Q_{сд} = \mu \cdot \gamma \cdot F_{пл} = P \cdot F_{пл}$  (25), где  $\gamma$  – скорость сдвига смеси, 1/с;  $\mu$  – динамическая вязкость смеси, Па·с;  $P$  – создаваемое напряжение смеси (давление), Па.

Деформация сдвига смеси связана с частотой вращения валка:  $F_{тр} = k_{тр} \omega^2$  (26), с другой стороны:  $F_{тр} = P \cdot S_{пл}$ , где  $S_{пл}$  – площадь соприкосновения пленки и поверхности вала, м<sup>2</sup>.

Отсюда  $\mu \cdot \gamma = k_{тр} \frac{\omega^2}{S_{пл}}$  или  $\gamma = k_2 n^2$ , где  $k_2 = \frac{k_{тр}}{S_{пл}} \cdot \left(\frac{60}{2\pi}\right)^2$  (27).

Передаточная функция привода валка была взята из источника литературы для трехфазного асинхронного двигателя типа 4А [1]:

$W_{пр}(p) = \frac{1}{2p+1}$ . (28).

Деформация сдвига приводит к изменению температуры пленки на поверхности валка:  $m_{пл} c_{пл} \frac{d\Delta\theta_{пл}}{dt} + F_{пл} \rho_{пл} c_{пл} \Delta\theta_{пл} = \frac{\mu F_{пл}}{F_{пл} \rho_{пл} c_{пл}} \Delta\gamma$  (29).

Постоянная времени сдвига:  $T_{сд} = \frac{m_{пл}}{F_{пл} \rho_{пл}}$ , с (30).

Коэффициент передачи:  $k_{сд} = \frac{\mu}{\rho_{пл} c_{пл}} \frac{кДЖ}{кг*К}$ . (31).

Передаточная функция, описывающая изменение температуры из-за деформации сдвига:  $W_{сд}(p) = \frac{k_{сд}}{T_{сд}p+1}$  (32).

На рис. 1 приведена структурная схема системы управления, собранная в программе Matlab Simulink.

На схеме приведены два взаимосвязанных контура регулирования – контур регулирования температуры пленки и контур толщины пленки.

Релейное регулирование в контуре охлаждения водой реализуется с помощью элемента Switch (Переключатель). Переключатель срабатывает при температуре пленки выше 150 градусов.

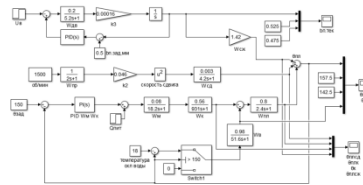


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления каландром

Следующим этапом моделирования является подбор регуляторов и исследование качества переходного процесса при автоматическом поддержании выходных параметров объекта на заданном уровне.

### Список использованных источников:

1. Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина: доклады всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности», посвященной Юбилейному году в ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина" (ИНТЕКС-2020). 2020. С. 136-139.

2. Оборудование химических лабораторий: Справочник.-Л.: Химия, 1978,- 480 с.

3. Пономарев, В. Б. Математическое моделирование технологических процессов/ В. Б. Пономарев, А. Б. Лошкарев. – Екатеринбург. 2006г. 17-19с.

© Окорочкова О.А., Власенко О.М., 2022

УДК 62-529

## КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РОБОТОВ В РЕЖИМЕ ДОПОЛНЕННОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Отт А.А., Гаус М.С.

Научный руководитель Шафрай А.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», Кемерово*

На сегодняшний день конструирование программируемых роботов является ключевым вектором как в направлении автоматизации производства и упрощения жизнедеятельности человека, так и в сфере развлечений [1, 2]. Для изучения направления новыми пользователями, в том числе детьми, создано программное обеспечение и развивающие наборы конструкторов (рис. 1) на базе программируемых модульных компьютерных плат и подключаемых модулей, в совокупности с крепёжными элементами (основание модели, стенки, колёсики и т.д.). Данное решение позволяет освоить базовые и специфические элементы поставленных задач. Но зачастую оно требует наличия элементов, отсутствующих в обучающем наборе или конфликтующих с уже использующимися деталями.



Рисунок 1 – Развивающий набор конструкторов для создания программируемых роботов «VEX EDR»

Для упрощения работы конструктора предложено разработать приложение, позволяющее осуществлять процесс конструирования и

управления прототипом роботизированной единицей в режиме реального времени при использовании дополненной виртуальной реальности. Данное нововведение не только ускорит процесс моделирования и тестирования, но и позволит пользователю выполнять работу, пренебрегая некоторыми нестыковками в конфигурации определённых деталей и модулей конструктора, в том числе немеханических деталей, например, внешние стенки и крепления различных модулей и элементов, не подходящих по габаритному размеру к аналогам из других наборов.

На базе операционной системы Android, в среде разработки Godot/Unity Engine, при использовании языков программирования C#, Python и GDScript, с использованием 3D-образов из Blender будет реализовано ПО (программное обеспечение), осуществляющее такие функции как:

конструирование и моделирование роботизированной единицы с использованием элементов из существующих наборов специального конструктора, в том числе готовых модулей, выполняющих определённое действие, так и с возможностью конструирования собственных элементов с дальнейшей печатью на 3D-принтере;

внедрение собственного или чужого кода в структуру управляющей платы, пренебрегая требованиями к используемому языку программирования [3];

тестирование разрабатываемого робота, как через компьютерное моделирование, так и при помощи дополненной виртуальной реальности;

управление готовым роботом в режиме реального времени при использовании дополненной виртуальной реальности.

Для пользователя предполагается предоставить базу отдельных элементов и готовых модулей, выполненных как при использовании деталей из одного обучающего набора, так и использующих детали из различных наборов. Данная особенность может быть выполнена с учётом рекомендаций по устранению конфликтов между деталями и с их игнорированием, учитывая сугубо электронную модель разрабатываемого робота. Решением основных конфликтов между деталями является моделирование и печать на 3D-принтере отдельных элементов или переходников между компонентами от разных производителей.

Для упрощения процесса программирования управляющей платы предлагается создать базу готовых модулей кода для выполнения основных и часто используемых действий, написанных на языке программирования предполагаемой платы и на сторонних языках с возможностью компилирования в другие.

При прототипировании робота пользователю будет предложено использовать среду для тестирования, отвечающую основным физическим законам реального мира с некоторыми допущениями. Наблюдать за



процессом тестирования можно будет как через экран электронного девайса (компьютер, планшет), так и в режиме дополненной виртуальной реальности через камеру и экран смартфона (рис. 2). Данная функция позволит ознакомиться с существующими проблемами на ранних этапах, предотвращая их в готовом роботе. Также в режиме дополненной виртуальной реальности предполагается осуществить управление готовым роботом, посредством прямого манипулирования или требованиям управления, прописанных при моделировании поставленных задач.

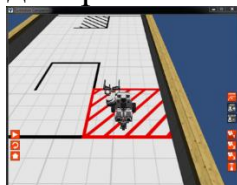


Рисунок 2 – Процесс тестирования разрабатываемого робота, на примере программы «Curriculum companion»

Как видно из описанного ранее, разрабатываемое ПО позволит упростить и ускорить процесс моделирования робота, тем самым популяризируя конструирование роботов среди людей, не имеющих доступа к физическим аналогам и должного навыка моделирования и/или программирования [4]. Для опытных пользователей платформа даст возможность моделирования робота из собственных элементов без необходимости создания физического аналога, а также проверить модернизацию в реальных условиях без физического вмешательства в уже созданного робота. Ещё на базе разрабатываемого ПО существует возможность создания футуристических моделей, выполненных как при использовании ещё несуществующих элементов, так и с переосмыслением аналогов.

#### **Список использованных источников:**

1. Макаренко Г. Будущее за роботами: 11 трендов развития робототехники в ближайшие годы [Электронный ресурс] / Г. Макаренко/РБК Тренды – 2019. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/5d6feaba9a79479e9bfce47e.html>;

2. Киселев В. Промышленные роботы в РФ [Электронный ресурс] / В. Киселев// VC.ru – 2020. – Режим доступа: <https://vc.ru/future/189808-promyshlennye-roboty-v-rf-keysy-vnedreniya-raschet-okupaemosti-i-perspektivy-robotizacii.html>;

3. База команд [Электронный ресурс] // Stack Overflow – 2022. – Режим доступа: <https://ru.stackoverflow.com/questions.html>;

4 Причины популярности роботизированных игрушек среди детей [Электронный ресурс] // Telegraf – 2021. – Режим доступа: <https://telegraf.by/press-relizi/prichiny-populyarnosti-robotizirovannyh-igrushek-sredi-detej.html>.

© Отт А.А., Гаус М.С., 2022

УДК 004.356.2

## ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Поляков Р.И., Сеницына Е.И.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Появившиеся еще в 80х годах прошлого столетия технологии 3D-печати в настоящее время стали перспективными технологиями для единичного и мелкосерийного производства. Данная технология позволяет изготавливать изделия с нуля, а также обрабатывать уже имеющиеся. Материал, изготавливаемого изделия, имеет физические и механические характеристики, идентичные свойствам материала, полученного традиционными способами [1].

Итак, производство с помощью аддитивных технологий – это проектирование объектов на основе трёхмерных моделей. Одним из основных методов производства является, как правило, метод послойного наплавления (FDM). Данный метод считается наименее дорогостоящим и наиболее распространенным, в отличие от печати металлом, печать которым предполагает использование специальных принтеров, недоступных широкому кругу лиц. В строительстве, пищевой и легкой промышленности, медицине технология уже имеет свое применение. В строительстве с помощью 3D-принтеров печатают дома в странах Азии, Америки и Европы. В Италии самый крупный строительный 3D-принтер применяется для устранения жилищных проблем, путем создания более дешевых домов [2].

На сегодняшний день некоторые крупные международные производители заморозили поставки машин и их комплектующих на российский рынок. Ряд компаний сделали это из-за политических мотивов, некоторые же из-за возникших логистических проблем.

ЕС, США, Великобритания, а также ряд других государств ввели санкции, некоторые зарубежные компании так же объявили о частичном или полном разрыве отношений с РФ [3].

Поэтому, в связи с политическими событиями в нашей стране встал вопрос об импортозамещении, то есть о снижении импорта товаров путем развития локального производства и ограничения ввоза из других стран. Это процесс замещения иностранных услуг и товаров отечественным производством.

Одним из приоритетов развития является обеспечение технологического развития в машиностроении.

Поскольку невозможно импортное оборудование в один момент заменить отечественным, а технику необходимо поддерживать в рабочем состоянии, то именно в этом случае на помощь приходят аддитивные технологии.

Некоторые машины, например Hyundai Solaris на 70% состоит из российских комплектующих, в отличие от Suzuki. Поэтому, поэтапное решение данной задачи будет производиться на примере бампера модели Suzuki Escudo, цена за который начинается примерно от 20 тыс. рублей на разных сайтах [4].

Первым этапом для создания комплектующих является выбор программы для трехмерного моделирования (в том случае, если нет возможности использовать сканер). Полностью российской программой является «Компас 3D» – он уже стал стандартом для инженеров, благодаря простому интерфейсу и широким возможностям моделирования. В основном, данное программное обеспечение ориентировано на производство разнообразных приборов, устройств и аппаратов.

Так же «Компас 3D», как система автоматизированного проектирования, направленная не только на машиностроение и 3D-моделирование, но также и на создание документов и разработку чертежей для инженерных проектов в таких отраслях промышленности, как приборостроение, судостроение, авиастроение, станкостроение, товары народного потребления и т.д.

Передний бампер в любом автомобиле представляет собой ту деталь, которая за период эксплуатации подвержена наиболее частому ремонту или замене. Очень часто данную часть машины называют расходником – в городских условиях бампер бьется часто, вследствие чего его и приходится менять или отдавать в мастерские.

В Suzuki Escudo бампер выполнен из термопласта, поэтому в печати возможно использование такого ударопрочного пластика, как ABS. Это техническая термопластическая смола, обладающая повышенной стойкостью к механическим повреждениям, а также защитой от факторов внешней среды.

Выбрав необходимый материал и программу для трехмерного моделирования, в реальном размере мы создаем твердотельную 3D-модель бампера (рис. 1).

После создания трехмерной модели и исправления недочетов и адаптации к подобранной технологии печати, деталь отправляется на изготовление.

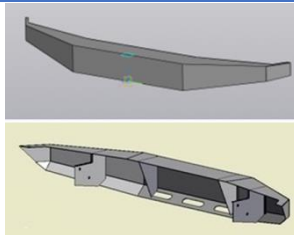


Рисунок 1 – 3D-модель бампера Suzuki Escudo.

В зависимости от заполняемости модели, количества поделенных элементов, подложек и частей детали, время, затраченное на изготовления бампера, может занять до 3х суток с учетом постобработки детали.

Конечно, исходя из описанных трудозатрат не все могут позволить себе данную технологию. Но если вложиться в развитие аддитивного производства, то данная технология позволит заменить около 70% зарубежных поставок. Но на данном этапе в основном пользуются 3D-печатью лица из реального сектора экономики.

Обобщая вышесказанное, хочется отметить, что применение аддитивных технологий в импортозамещении позволяет сократить сроки поставок, избавиться от колебания курса валют, получить возможность изменить конструкцию детали, материал изготовления и что не мало важно на данный момент – обойти санкционные ограничения.

#### **Список использованных источников:**

1. Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учебное пособие. –СПб.: Университет ИТМО, 2015. – С. 63.

2. «Аддитивные технологии в мелкосерийном производстве» Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 4. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. – 278 с. Часть 4 стр.229

3. Миграционный портал [Электронный ресурс]: Импортозамещение в России в 2022 году – последние новости- Электрон.дан.,2022г. /

Режим доступа: <https://emigrating.ru/18-03-2022-importozameshhenie-v-rossii-v-2022-godu-poslednie-novosti/>

4. Autonews РБК [Электронный ресурс]: Ситуация с машинами в России.- Новостной портал- Электрон.дан.,2022г/ Режим доступа: <https://www.autonews.ru/news/6228c7e09a794783990dbad6>

© Поляков Р.И., Сеницына Е.И., 2022

УДК 004.942

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ В SIMMECHANICS

Савина Л.Ю., Соловьев П.Р., Захаркина С.В., Масанов Д.В.  
*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Имитационное моделирование полёта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет с помощью компьютерных вычислений и настроить систему управления объектом и её параметры заранее, до пуска реального аппарата, что уменьшает временные затраты на настройку и снижает риски потери оборудования.

В данной статье будет рассмотрена разработка системы управления квадрокоптером на базе импортированной в Matlab/Simulink модели из САД-системы SolidWorks.

Для стабильного полёта необходимо провести первичную настройку ПИД-регулятора в составе замкнутой системы управления. Квадрокоптер имеет 4 степени свободы (altitude, pitch, roll, yaw), поэтому для каждой степени необходимо определить свои значения регулятора.

Движение БПЛА происходит по связанной системе координат, которая как раз используется для воздушных судов. Продольная ось отвечает за крен (roll), вертикальная за рыскание (yaw), поперечная за тангаж (pitch). И конечно, не забываем про высоту (altitude).

Изменение каждого параметра регулятора отвечает за поведение квадрокоптера в полёте. Пропорциональный коэффициент отвечает за силу исправления погрешностей, при высоких значениях выше отзывчивость аппарата, что необходимо для более скоростных устройств, при необходимости плавности передвижения нужно делать коэффициент меньше. Интегральный коэффициент, по большей части, отвечает за реакцию на окружающие воздействия, такие как ветер. Дифференциальная составляющая корректирует значения пропорциональной. Для нее необходимо подобрать самые стабильные значения, иначе слишком большие значения приведут к вибрациям, а слишком низкие к очень быстрым переключениям работы двигателя, что может привести к поломке.

Многие современные полётные контроллеры имеют зашитые в них настройки регулятора, но для настройки модели под свои нужды и для более точного исполнения действий необходимым является ручная настройка.

Также необходимо правильно сконфигурировать передачу управляющего сигнала с регуляторов, отвечающих за степени свободы, на сами двигатели. Так, например, управление высотой передает положительный сигнал на все выходы, а вот все остальные управляющие

сигналы уже меняются в зависимости от местоположения двигателя относительно центра БПЛА.

Также стоит учитывать, что два пропеллера крутятся по часовой стрелке, а два другие – против часовой, и с противоположным углом. Такая схема применяется для правильного управления рысканием, так как все пропеллеры направлены вверх.

В код синтезированной модели (рис. 1) добавляются элементы системы управления: ПИД-регуляторы, входные сигналы, обратная связь с датчиков. Система управления внедрена в блок Control, на входы которого подаются управляющие константы и обратная связь. Выходы управляющего блока поступают на блок Quadcopter, в который внедрена синтезированная модель. Выходы данного блока идут в обратную связь и на демонстрацию результатов.

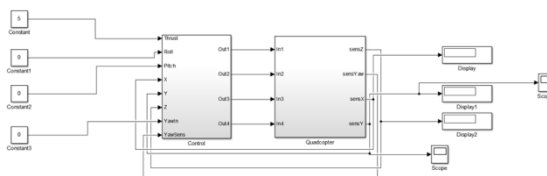


Рисунок 1 – Код синтезированной модели

На рис. 2 приведены показания осциллографа, отображающие подъём на заданную высоту и удержание на ней. Результаты моделирования подтверждают правильность настроек ПИД-регулятора.

Программа Matlab позволяет осуществить 3D-моделирование синтезированной модели. В результате запуска разработанного кода была получена 10-секундная видеозапись, на которой виден взлёт и стабильное удержание квадрокоптера на заданной высоте. На рис. 3 приведен один из кадров этого видеоролика.

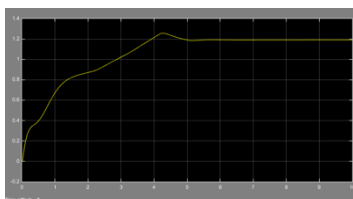


Рисунок 2 – Результаты моделирования набора высоты квадрокоптером

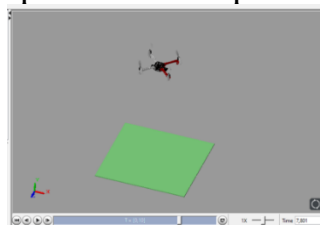


Рисунок 3 – 3D-моделирование синтезированной модели

Таким образом, нам удалось запустить в полет имитационную модель, синтезированную из среды SolidWorks, и правильно настроить управление беспилотного летательного аппарата для устойчивого удержания высоты.

### Список использованных источников:

1. Мультикоптер: сайт Википедии [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B5%D1%80> (дата обращения: 14.03.22)
2. Quadcopter Flight Control Using a Non-invasive Multi-Modal Brain Computer Interface: сайт Frontiers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2019.00023/full> (Дата обращения: 14.03.22).

© Савина Л.Ю., Соловьев П.Р.,  
Захаркина С.В., Масанов Д.В., 2022

УДК 004.942

## СИНТЕЗ МОДЕЛИ КВАДРОКОПТЕРА В SIMMECHANICS

Савина Л.Ю., Соловьев П.Р., Захаркина С.В., Масанов Д.В.  
*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Компьютерное моделирование в настоящее время является важной частью при проектировании сложных динамических систем. Данный метод обработки данных помогает избежать большое количество ошибок при пуско-наладке готового устройства.

В данной работе будет приведен процесс экспортирования модели квадрокоптера и первичная её настройка, созданной в САД-системе SolidWorks в среду Matlab/Simulink с применением библиотеки SimScape/SimMechanics с целью дальнейшего имитационного моделирования полёта беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и настройки системы управления двигателями, а также получение исходного кода устройства.

При создании объекта в системе SolidWorks мы можем не только воссоздать точную копию реального БПЛА в 3D-среде, но и настроить различные физические параметры данного объекта, среди которых вес, центр масс, и так далее.

Также создавать 3D-модель в SolidWorks необходимо с учетом того, что осью, направленной вверх, в среде Simulink выступает ось Z, в то время как в системе SolidWorks таковой осью является Y, и если забыть про данный факт, то после экспортирования в Simulink мы увидим перевернутую на бок модель, с которой будет невозможно работать.

В системе SolidWorks есть возможность подключения различных дополнений, так называемых «добавлений», позволяющих расширить стандартный функционал системы. Так, например, изначально мы не можем

экспортировать модель из Solidworks. Однако специалисты из MathWorks разработали программный комплекс, реализующий данную возможность, и разделили весь процесс на 2 отдельных этапа – экспорт из системы SolidWorks, и импорт в среду Simulink.

Для того, чтобы активировать данный плагин, для начала необходимо в самой среде Matlab прописать команду `smlink_linksw`. Данная команда добавляет SimScape Multibody в реестр Windows в качестве плагина для SolidWorks, и делает его обнаружение доступным CAD-системе. Теперь, запустив SolidWorks, и зайдя в меню «Инструменты» – «Добавления», мы можем наблюдать появившийся пункт «SimMechanics Link». Остается только активировать его, нажав соответствующую галочку рядом.

Теперь перейдем к экспорту. Открываем файл модели в системе SolidWorks. Открываем пункт меню «Инструменты», находим «SimMechanics Link», где нам надо выбрать «Export» и «SimMechanics Second Generation». Появится окно выбора папки для сохранения экспортированной модели – выбираем, и сохраняем. Запустится процесс экспорта, в результате которого мы получим папку с несколькими файлами 3D-объектов с расширением STL, а также xml-файл, содержащий информацию о физических параметрах модели и положении объектов, описанных выше.

Импорт модели в среду Simulink начинается с работы с элементом Current folder – в нём нам надо найти папку с экспортированной моделью, при нажатии по которой правой кнопкой мыши необходимо выбрать действие «Add to path» – «Selected folders and subfolders». Это необходимо для того, чтобы среда Matlab «увидела» экспортированные файлы из системы SolidWorks. Следующий шаг в процессе импорта – в командной строке среды Matlab необходимо прописать команду `smimport('name')`, где name – название xml-файла без указания его расширения. После выполнения данной команды начнется процесс импорта экспортированной из системы Solidworks модели в среду Matlab/Simulink, окончанием которого станет открытие окна Simulink с не очень презентабельным, но готовым к работе кодом. Часть данного кода приведена на рис. 1.

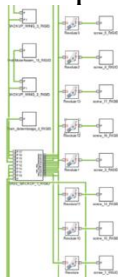


Рисунок 1 – Программный код после импорта модели в среду Matlab/Simulink

При попытке запустить данный код без редактирования мы увидим симуляцию данной модели в среде Matlab, и это будет статичный объект,



находящийся там без движения в течение заданного в Simulink времени (как правило – 10 секунд).

Синтез модели на этом считается завершенным, далее начинается работа с непосредственно моделированием БПЛА. Для начала можно данный код структурировать, упростить соединения и разместить блоки по логическому порядку, для облегчения дальнейшей работы с моделью. SimMechanics имеет в своей библиотеке различные блоки, которые можно использовать при имитационном моделировании.

Так, например, с помощью шарнирного элемента revolute, к которому подключен пропеллер, можно задать движение данному пропеллеру, настроив блоку вход с установленной мощностью двигателя, и подать на него мощность, например, константой через конвертер Simulink-сигнала в сигнал SimMechanics. Однако, даже если мы зададим такие шарниры каждому из пропеллеров – квадрокоптер не полетит, так как он жестко привязан к начальной точке координат.

Для того, чтобы его отпустить от этой точки – нам понадобится добавить блок 6-dof joint, который необходимо разместить в коде между началом координат и самим БПЛА. Теперь же квадрокоптер может взлететь, однако, так как система управления не настроена – полет будет неустойчивым. Пример такого кода приведен на рис. 2.

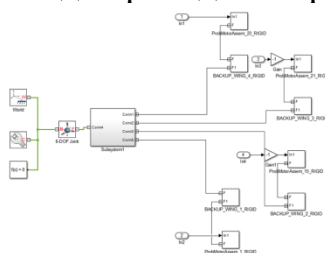


Рисунок 2 – Преобразованный программный код модели квадрокоптера в Matlab/Simulink

В результате данной работы нам успешно удалось перенести 3D-модель беспилотного летательного аппарата из системы SolidWorks в среду Matlab/Simulink и запустить перенесенную модель для дальнейшей работы с ней.

#### Список использованных источников:

1. Enable Simscape Multibody Link Plugin in SolidWorks: сайт Mathworks [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/ref/linking-and-unlinking-simmechanics-link-software-with-solidworks.html> (Дата обращения: 16.03.2022)
2. Export a SolidWorks Robot Assembly Model: сайт Mathworks [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/ug/export-robot-assembly-from-solidworks-software.html#:~:text=Export%20the%20Model,->

Once%20you%20successfully&text=On%20the%20SolidWorks%20tool%20bar,Click%20Save. (Дата обращения: 16.03.2022)

3. Import a Robotic Arm CAD Model: сайт Mathworks [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ug/import-robot-arm-model.html> (Дата обращения: 16.03.2022)

© Савина Л.Ю., Соловьев П.Р.,  
Захаркина С.В., Масанов Д.В., 2022

**УДК 67.05**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ДЛЯ ФИЛЬЕРЫ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВОЛОКОН ИЗ РАСПЛАВА ПОРОДЫ БАЗАЛЬТА И СТЕКЛА**

Федосеев А.М., Канатов А.В., Федоров Э.В.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Исследования в области промышленного получения непрерывного базальтового волокна (НБВ) волокна начались примерно в 1960 годах. Исследования велись по нескольким направлениям, таким как изучение характеристик НБВ, сфера использования и оборудование для получения НБВ. Главной целью этих исследований являлось получение базальтового волокна максимального качества для использования в композиционных материалах для разных сфер промышленности.

В сравнении с обычными материалами, композиционные материалы из базальта обладают существенными преимуществами, такими как стойкость к коррозии, малый коэффициент теплопроводности и др.

В связи с этим для современной промышленности необходимо проводить исследования, разработки конструкций по наиболее ответственным элементам оборудования для получения НБВ для снижения стоимости производства волокон, интенсификации процесса получения материала нужного качества.

В данной работе рассматривается процесс образования капель из расплава в зависимости от диаметра фильеры фильерного питателя.

Целью статьи является анализ результатов моделирования и расчета величины и формы капель при формировании волокон из расплава для случая плоской фильеры с круглыми отверстиями.

Проблема растекания расплава по поверхности плоской фильеры при формировании капли является актуальной, потому что поведение капли в зависимости от диаметра и плотности расположения фильер труднопредсказуемо. Традиционное оборудование для получения волокон

не всегда может обеспечить нужное качество получаемого материала, а также является недолговечным, в следствии выгорания.

Для решения этой проблем рассмотрим процесс образования капель при формовании волокон из расплава. На размеры капель и характер отрыва значительное влияние оказывает размер отверстий плоской фильеры. Одним из путей интенсификации процесса производства волокон из расплава является увеличение количества отверстий на единице площади фильеры. Однако применение фильер с очень плотным полем требует более интенсивных способов охлаждения при формовании волокон из расплава, значительно усложняет процесс изготовления фильер и значительно уменьшает их прочность.

При плотном расположении отверстий увеличивается опасность растекания расплава по поверхностям фильеры при обрыве волокон за счет поверхностного взаимодействия между расплавом и фильерой, и соединения соседних капель в процессе заправки.

Для нормального ведения процесса выработки волокна при плотном расположении отверстий необходимо в момент заправки или при обрыве иметь радиус растекания капли меньше  $t/2$ , где  $t$  – шаг между осями соседних отверстий.

Попытаемся приблизительно выяснить размеры образующихся капель, их эволюцию и отрыв.

Рассмотрим процесс образования капли при формовании волокон из плоской фильеры с круглыми отверстиями. Пусть капля симметричной формы находится на нижней поверхности твердой пластины с отверстием, центр которого расположен на оси симметрии свободной поверхности жидкости.

Введем цилиндрическую систему координат  $r, \varphi, z$ , причем начало координат совместим с вершиной капли, а ось  $z$  направим вверх (рис. 1). Из-за осевой симметрии для определения формы капли в некоторый момент времени достаточно определить форму ее образующей – линии пересечения поверхности капли полуплоскостью  $\varphi = \text{const}$ . Эту образующую в дальнейшем будем называть равновесной линией.

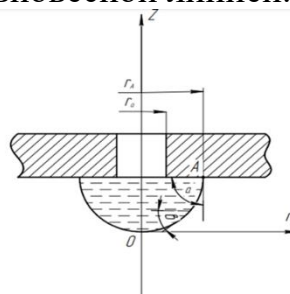


Рисунок 1 – Процесс образования капли

Пренебрегая влиянием инерционных сил на эволюцию формы и размеров капли, можно считать рост капель квазистатическим, а за момент

начала отрыва принять момент потери устойчивости равновесной свободной поверхности жидкости.

Граница между квазистатическим и динамическим режимом может быть приблизительно определена путем сравнения силы поверхностного натяжения, которая с достаточной степенью точности записывается

$F_\delta = 2\pi r_0 \sigma$  (1), где  $r_0$  – радиус отверстия;  $\sigma$  – поверхностное натяжение, действующее на каплю в результате торможения втекающей в нее жидкости, в среднем равной  $F_v = \pi r_0^2 \rho \frac{v^2}{2}$  (2), где  $\rho$  – плотность жидкости;

$v = \frac{Q}{\pi r_0^2}$  – средняя скорость истечения жидкости из отверстия;  $Q$  – объемный расход жидкости.

Из условия  $F_\delta = F_v$  можно найти граничное значение скорости истечения, т.е. границу между квазистатическим и динамическим режимом отрыва капель.

$$2\pi r_0 \sigma = \pi r_0^2 \rho \frac{Q^2}{2\pi^2 r_0^4} = \pi r_0^2 \rho \frac{v^2}{2} \quad (3).$$

Пользуясь полученным уравнением, определим границу между квазистатическим и динамическим режимом для расплава.

Расход из одного отверстия промышленного 400 фильерного сосуда с диаметром отверстий  $d_{отв} = 1,5 \text{ мм} = 0,15 \text{ см}$  и производительностью  $P = 160 \text{ кг/сутки}$  составляет:

$$Q = \frac{P \cdot 1000}{n \cdot \rho \cdot 14400 \cdot 60} = \frac{160 \cdot 1000}{14400 \cdot 60 \cdot 400 \cdot 2,71} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{с},$$

где  $n$  – число отверстий в фильере; плотность расплава  $\rho = 2,71 \text{ г/см}^3$ ; поверхностное натяжение  $\sigma = 300 \frac{\text{дин}}{\text{см}}$ .

Средняя скорость истечения расплава из отверстия в фильере стандартного сосуда составит:  $v = \frac{Q}{\pi r_0^2}$ , где  $r_0$  – радиус отверстия в фильере

$$v = \frac{Q}{\pi r_0^2} = \frac{1,9 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,015^2} \cong 0,11 \text{ см/с}.$$

Граничное значение скорости, определяемое из уравнения (3) в приведенном примере равно:  $v = \sqrt{\frac{4\pi \cdot r_0 \cdot \sigma}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 300}{0,015 \cdot 2,71}} = 80 \text{ см/с}.$

На основании полученных данных можно полагать, что в данном случае можно применять результаты, полученные для квазистатического режима, т.е. будем считать, что увеличение объема капли происходит настолько медленно, что в каждый момент времени, вплоть до начала отрыва капли, свободную поверхность жидкости можно считать равновесной.

Получено, что равновесные линии в параметрическом виде описываются системой уравнений (4):

$$\begin{cases} R'' = -z'(-z + c - z'/R) \\ z'' = R'(-z + c - z'/R) \end{cases} \quad (d'/ds) \quad (4)$$

где  $S$  – длина дуги равновесной линии, отсчитываемая от начала координат;  $c$  – параметр, значение которого заранее неизвестно;  $R, z$  – безразмерные координаты определяемые с помощью следующих значений  $R = \sqrt{|b|} * r$ ;  $z = \sqrt{|b|} * z$ ;  $b = \rho g \sigma^{-1}$ .

При начальных условиях  $R(0) = 0$ ;  $R'(0) = 1$ ;  $z(0) = 0$ ;  $z'(0) = 0$

Семейство решений задачи (4) при различных значениях параметра « $c$ » представлен на рис. 2.

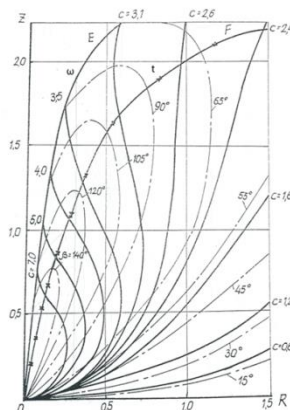


Рисунок 2 – Семейство решений задачи при различных значениях параметра « $c$ ».

Приведенные на рис. 2 графики позволяют проследить за эволюцией формы капли при ее росте вплоть до момента начала отрыва.

Для определенности будем считать, что в начальный момент капля контактирует с кромкой отверстия и ее поверхность плоская ( $c = 0$ ).

В процессе роста капли конечная точка движется вдоль прямой  $R=R_0$ , начиная из  $R=R_0, z=0$ , так что по точкам пересечения этой прямой с интегральными кривыми можно проследить за эволюцией формы капли вплоть до момента потери устойчивости.

Следовательно, капля сидит на кромке отверстия, затем сползает на гладкую поверхность, после чего снова садится на кромку, от которой и отрывается.

Результаты вычислений показывают, что при малых размерах отверстия  $R_0 < 10^{-2}$  свободную поверхность можно считать сферической и лишь в момент близкий к началу отрыва, у основания капли появляется шейка.

Критическими являются формы капель, определяемые конечными точками, которые принадлежат линии  $otE$ .

На рис. 3 представлен графический рост капель и характер их отрыва для всех случаев в зависимости от соотношения  $R_0$  и  $\alpha$ .

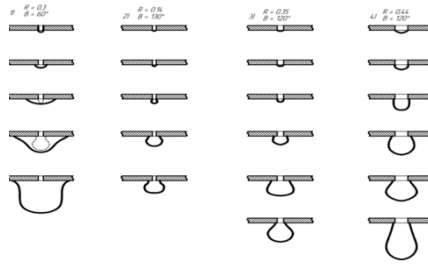


Рисунок 3 – Графический рост капель и характер их отрыва

1. При  $R_0=0,3$  и  $\beta=60^\circ$  линия  $R=\text{const}$  пересекает линию  $\beta=60^\circ$  один раз. Капля почти сразу сползает на поверхность пластины и по мере роста объема радиус основания растет. О форме капли судим по виду интегральных кривых, которые пересекают линию  $\beta=60^\circ=\text{const}$ . Капля потеряет устойчивость при достижении кривой  $\beta=60^\circ$  линии отЕ.

Отрыв капли в этом случае произойдет от поверхности пластины и радиус основания капли будет равен  $R_A=1,35$ .

2. При  $R_0=0,14$  и  $\beta=130^\circ$  капля также своим основанием сползает на гладкую поверхность пластин, т.е. прямая  $R_0=0,14$  один раз пересекает линию  $\beta=130^\circ$ , но форма капли в момент отрыва, как видно из рисунка будет другой, отрыв капли произойдет при достижении линии  $\beta=130^\circ$  кривой отЕ.

3. При  $R_0=0,35$  и  $\beta=120^\circ$  линии  $R_0=0,35$  дважды пересекает линию  $\beta=120^\circ$ , поэтому капля при первом пересечении сползает на поверхность пластины и основание капли увеличивается в зависимости от характера кривой  $\beta=120^\circ$ . Форма капли определяется формой интегральных кривых в точках их пересечения с  $\beta=120^\circ$ . Затем основание капли начинает уменьшаться, и капля своим основанием опять садится на кромку отверстия, от которой она отрывается при достижении линии  $R_0=0,35$  кривой отЕ.

4. При  $R_0=0,44$  и  $\beta=120^\circ$  прямая  $R_0=0,44$  не пересекает кривую  $\beta=120^\circ$ . В этом случае капля в процессе роста остается на кромке отверстия и радиус основания капли в момент отрыва равен радиусу отверстия  $R_0=R_A$ . О форме капли в процессе роста судим по форме интегральных кривых, пересекающих линию  $R_0=0,44$ .

Пользуясь графиком, представленным на рис. 2, построим зависимость отрывного радиуса от угла  $\beta$  (рис. 4).

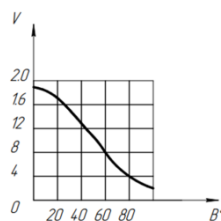


Рисунок 4 – Зависимость отрывного радиуса от угла  $\beta$

По результатам моделирования и расчета, можем сделать вывод о том, что опасность растекания уменьшается с увеличением начального радиуса отверстия и с увеличением угла смачивания. На практике увеличение начального радиуса  $R_0$  ограничено кратностью вытягивания при формовании волокон при прочих равных условиях (вязкость расплава, давление и т.д.).

**Список использованных источников:**

1. Слобожанин Л.А., Тюпцов А.Ф. «Об эволюции и отрыве капель и пузырей при их медленном росте» Харьков, 1972г.
2. Слобожанин Л.А. Тюпцов А.Д. «Определение формы и устойчивости осесимметричных поверхностей капиллярных жидкостей» Харьков, 1972г.
3. Рытвин Е.И. «Сборник трудов ВНИИСПВ» Москва, 1972г.
4. Канатов, А. В. Применение новых композиционных материалов при оптимизации конструкции стеклоплавильного оборудования / А. В. Канатов, Н. А. Виноградов, Э. В. Федоров // материалы междунар. научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н.Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук». Москва, 2021. С. 303-307.
5. Канатов, А. В. Проблемы ускоренного износа фильерного питателя в результате провисания фильерной пластины из платино-родиевых сплавов / А. В. Канатов, Э. В. Федоров, А. А. Кулаков // Сборник материалов Международной научно-технической конференции. 2020. С. 273-276.

© Федосеев А.М., Канатов А.В., Федоров Э.В., 2022

УДК 677.05

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ОБЪЕКТА ОБРАБОТКИ  
С МЕХАНИЧЕСКИМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ  
В РЕЗАТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ БАРАБАННОГО ТИПА**

Федькин Н.С., Зайцев Д.А., Канатов А.В.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Производство химического волокна началось во французском городе Безансоне в 1890 году. Создание волокна основывалось на переработке раствора эфира целлюлозы – нитрата целлюлозы.

В России химические волокна классифицируются по виду исходного сырья:

искусственное волокно – создаётся из природных материалов – полимеров, но с помощью химических реакций: гидратцеллюлозные, ацетилцеллюлозные, белковые;

синтетическое волокно – создаётся из синтетических полимеров: карбоцепные, гетероцепные.

В промышленности химические волокна вырабатывают в виде штапельных волокон (резаных длиной 35-120 мм); жгутов и жгутиков (линейная плотность соответственно 30-80 и 2-10 г/м); комплексных нитей (состоят из многих тонких элементарных нитей); монопнитей (диаметром 0,03-1,5 мм) [1].

Чаще всего жгуты химических волокон используют в виде коротких волокон определённой длины. Существует несколько методов обработки полимерных волокнистых композиционных материалов с применением процессов резания: лезвийный и абразивный [2, с. 117]. Для разделения непрерывного жгутового штапельного волокна используют резательные машины. Качество резаного штапельного волокна в значительной степени определяется конструкцией и надёжностью работы резательных машин. Длина отрезков зависит от диаметра барабана резательной машины и количества установленных ножей.

Резательные машины, применяемые для разрезания жгутов химических волокон, относятся к машинам типа «Гру-Гру» и входят в состав поточных линий для производства штапельного волокна. Конструктивная схема машины этого типа, выпускаемой американской фирмой Lummus изображена на рис. 1, где обозначено: 1 – электродвигатель, 2 – электромагнитная муфта, 3 – передача зубчатым ремнём, 4 – вал привода барабана, 5 – монтажный фланец, 6 – прижимной ролик, 7 – барабан с ножами, 8 – механизм установки прижимного ролика, 9 – разгрузочный патрубок машины. Резательные машины следует отличать от ленточно-штапелирующих машин, предназначенных для преобразования жгутового химического волокна в волокнистую ленту [3, с. 3].

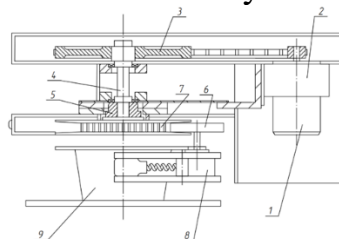


Рисунок 1 – Конструктивная схема машины типа «Гру-Гру».

На производствах можно встретить несколько видов машин для резания жгутов химических волокон типа «Гру-Гру»:

резательные машины с центробежной подачей жгута – машина для работы как с сухим, так и мокрым волокном, работающая по принципу подачи жгута на разрезание и создание его натяжения под действием центробежной силы [4, с. 287];



резательные машины с фиксацией жгута цепью – машина, применяемая для резки жгутов сухого синтетического штапельного волокна, с делительным колесом и делительной цепью [3, с. 11];

резательные машины с гидравлической подачей жгута – машина для мокрого волокна с гидравлической подачей применяется в производстве вискозного штапельного волокна только шерстяного типа, так как для волокна хлопчатобумажного типа они не обеспечивают требуемую точность резки [4, с. 287];

резательные машины с ножевым барабаном – машина, применяемая для скоростной резки жгута сухого синтетического штапельного волокна, с ножевым барабаном и прижимным роликом [3, с. 18];

резательные машины с отдельными делительными колёсами – относятся к группе машин, работающих по принципу разрезания жгута химических волокон, зажатого механизмами машины с обеих сторон режущего ножа делительными ребристыми колёсами [4, с. 288].

Резаный жгут химических волокон должен быть однородным по длине, в нём должно быть минимальное число коротких и длинных элементов, наличие коротких волокон приводит к понижению прочности пряжи, длинные волокна нарушают нормальный процесс вытягивания в вытяжном приборе. Во время производства смешанной пряжи важное значение приобретает выбор толщины и длины волокон. Геометрические параметры волокон не должны сильно отличаться от остальных компонентов смеси, так как тогда невозможно будет получить равномерной пряжи с одинаковыми свойствами. Линейная плотность штапельного волокна и жгута химических волокон регламентируется ГОСТ 10213.1-2002, а правила приёмки и метод отбора проб штапельного волокна и жгута химических волокон регламентируется ГОСТ 10213.0-2002.

Длина волокна на машине зависит от диаметра ножевого барабана и количества установленных на нём ножей. При изменении длины резаных волокон на машине устанавливается барабан с соответствующим числом ножей. Длину отрезков приблизительно можно определить по формуле (1) [3, с. 21]:  $l_{ш} = D \sin\left(\frac{\pi}{k}\right)$  (1), где  $D$  – диаметр ножевого барабана, м;  $k$  – количество установленных ножей в ножевом барабане.

На качественные характеристики получаемого волокна оказывает влияние натяжение жгута при резании и величина зазора между прижимным роликом и кромкой пластинчатых ножей. Установленный на кронштейне прижимной ролик начинает двигаться в результате сцепления с разрезаемым жгутом, намотанным на ножевой барабан. В зависимости от скорости поступления жгута автоматически регулируется скорость резания.

Учитывая свойства искусственных и синтетических химических волокон, видов применяемого оборудования, необходимо иметь представление об условиях взаимодействия ножа с разрезаемым

материалом и прижимным роликом. Для решения поставленной задачи необходимо определить условия, при которых можно обеспечить минимальную величину усилия разрезания в зависимости от физико-механических свойств материала, это позволяет уменьшить износ рабочих органов и оснастки резательной машины, уровень шума на рабочих местах, улучшить качество и увеличить производительность процесса разрезания.

Ранее на базе Московского технологического института лёгкой промышленности проводились экспериментальные исследования по созданию установки траверсного типа, имитирующей процесс разрезания при различных скоростях вращения ножевого барабана резательной машины. К основным элементам конструкции относятся: основание, траверса, перемещающаяся по двум консольно-закрепленным направляющим, устройство фиксации режущего инструмента.

На базе лабораторной установки проводились исследования по определению усилия вырубания и вибрационных характеристик процесса при различных физико-механических свойствах вырубаемого материала и разной геометрии лезвия режущего инструмента [5, с. 41]. Для адаптации результатов эксперимента к сегодняшним реалиям была проведена работа по переработке экспериментальных данных. Опытная лабораторная установка на практике схожа с резательной машиной барабанного типа. Представим, что резак, который прикреплен к траверсе, выполняет роль пластинчатого ножа, находящегося в ножевом барабане, а вырубная плита, где располагается разрезаемый материал, будет выполнять роль прижимного ролика.

Основной сложностью в моделировании эксперимента является проблема измерения времени падения траверсы с закрепленным на ней пластинчатым ножом, которая имела специфическую особенность, поскольку прорубаемый материал, вносимый в измерительную систему, изменяет ее частоты, волновые характеристики, то размещение датчика на вырубной плите, пластинчатом ноже, материале вносит погрешности и является недопустимым.

Для решения проблемы принимается лабораторная установка с использованием акустического реле, изображенная на рис. 2 [5, с. 44]. При проектировании установки использовались приборы и источники питания, которые находятся в серийном производстве.

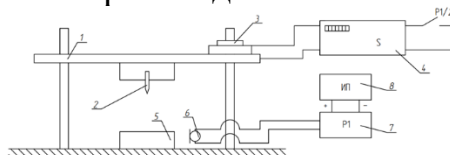


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки.

Выбранная экспериментальная установка работает следующим образом: в момент начала свободного движения траверсы 1 под действием собственного веса с прикрепленным к ней пластинчатым ножом 2,

размыкается контакт между штангой и верхним упором 3, что запускает в действие электронный секундомер 4. В момент соприкосновения пластинчатого ножа 2 с разрезаемым материалом 5 происходит формирование акустической волны, которая регистрируется датчиком 6. Акустическое реле 7, питаемого источником 8, срабатывает в момент поступления сигнала от датчика и контактором Р1/2 блокирует секундомер 4. Таким образом разность показателей секундомера до и после эксперимента является оценкой времени падения траверсы (2) [5, с. 43]:  $\Delta t^* = t + \Delta t$  (2), где  $t$  – время падения штанги, с;  $\Delta t$  – статистическая ошибка с.

Статистическая ошибка, возникающая при этом, обусловлена временем прохождения акустической волны от источника её возникновения до датчика (3):  $\Delta t = \frac{S}{v_3}$  (3), где  $S$  – высота падения, м;  $v_3$  – скорость падения, м/с.

При  $S = 0,06$  м и  $v_3 = 340$  м/с получаем, что статистическая ошибка равна:  $\Delta t = \frac{0,06}{340} = 0,00018$  с.

Оценка точности измерений проводилась на основании 50 опытов для каждого из 10 вариантов измерений, которые соответствуют начальной высоте траверсы 10, 20, ..., 100 мм. Погрешность измерений не превысила 10%, это достаточно для практической оценки результатов.

Для фиксации времени срабатывания системы разработана схема акустического реле (рис. 3) [5, с. 44].

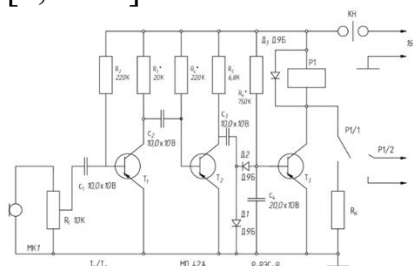


Рисунок 3 – Схема акустического реле.

Акустическое реле работает следующим образом: в исходном положении в коллекторной цепи транзистора  $T_2$  течет ток покоя, который меньше тока срабатывания реле Р1. В это время контакты Р1/2 реле Р1 разомкнуты и исполнительная цепь (секундомер) не заблокирована. При появлении звукового сигнала колебания низкой частоты от микрофона Мк 1 усиливаются усилителем НЧ, собранным на транзисторах  $T_1$  и  $T_2$ , и с нагрузочного резистора  $R_5$  поступают на выпрямитель. Отрицательные полуволны выпрямленного напряжения подаются на базу транзистора ТЗМ одновременно заряжают конденсатор СЧ. При достаточном звуковом сигнале конденсатор СЧ зарядится до напряжения 0,25-0,3 В и коллекторный ток транзистора  $T_2$  увеличится, в результате чего реле Р1 срабатывает и блокируется контактами Р1/1 реле. Контакты Р1/2

заблокируют электронный секундомер. Возврат реле в исходное состояние осуществляется путем нажатия кнопки  $K_n$  [5, с. 43].

Резистор  $R_1$  изменяет уровень сигнала, поступающего от микрофона на вход усилителя  $H_4$ , тем самым, регулируется чувствительность акустического реле.

Разные материалы отличаются своими физическими и механическими свойствами. При их разрезании требуется неодинаковая нагрузка, реализуемая прижимным роликом, избыток мощности привода вызывает повышенный износ прижимного ролика и пластинчатых ножей.

Важным является определение усилия, необходимого для разрезания разных материалов различными пластинчатыми ножами. Эти результаты могут быть использованы при определении динамической нагруженности резательной машины.

Физико-механические свойства при сжатии испытуемого материала определяются на модернизированной установке ВР МХС и ТМ-М. В установке для определения твёрдости ТМ-М в качестве индикатора используется стальной шарик. Расчёт твёрдости производился по формуле (4):  $H = \frac{F}{\pi d h}$  (4), где  $F$  – усилие, Н;  $d$  – диаметр шарика, м;  $h$  – глубина погружения шарика в материал, м.

По результатам обработки экспериментальных данных, полученных при проведении эксперимента на установке (рис. 1) по стандартной методике, были определены основные параметры, влияющие на качество волокон в зависимости от модуля упругости  $E$ . Также при моделировании эксперимента были использованы несколько видов материалов.

#### **Список использованных источников:**

1. Роговин З.А. Основы химии и технологии химических волокон, 4 изд., т. 1-2, М., 1974.

2. Зайцев Д.А., Канатов А.В. Анализ методов обработки волокнистых композитных материалов резанием // Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы / Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Москва, 2021. С. 116-120.

3. Озерский О.Н. Конструкция и расчет резательных устройств [Текст] : Конспект лекций. - Москва : МТИ, 1978. - 48 с. : ил.; 20 см.;

4. Браверман П.Ф. Оборудование и механизация производства химических волокон [Текст] : [Учебник для хим. специальностей техникумов] / П. Ф. Браверман, А. Б. Чачхиани. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1975. - 375 с. : ил.; 22 см.

5. Нур, Абделькадер. Динамическое нагружение рабочих органов вырубных прессов : автореферат дис. ... кандидата тех. наук : 05.02.13 / Моск. технол. ин-т легкой пром-ти. - Москва, 1990. - 215 с.

© Федыкин Н.С., Зайцев Д.А., Канатов А.В., 2022

**УДК 004.415.25**

## **ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ СБОР ИНФОРМАЦИИ В БАЗУ ДАННЫХ СЛОЖНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Фрасын П.Г., Масанов Д.В.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Водозаборный узел представляет собой инженерно-технический комплекс зданий и оборудования для автономного водоснабжения объектов различного назначения. Водозаборные сооружения должны обеспечивать поступление воды в систему водоснабжения в необходимом количестве, надлежащего качества и в соответствии с графиком водопотребления.

Крупный водозаборный узел не может работать автономно, так как требует персонала для обслуживания скважин, станции фильтрации, для осмотра оборудования и проведения замеров качества воды на содержание хлора и железа.

На водозаборном узле, который обслуживает крупный подмосковный поселок, ведется контроль потребления воды. Для этого установлены счетчики на скважинах, на станции водоочистки воды и станции второго подъема. Данные с них необходимо вносить в журнал для отчетности.

Поскольку на объекте отсутствовала централизованная система сбора и учета данных, персонал вручную заполнял журналы потребления, журналы расхода реагентов и журналы анализов качества воды.

Работа с имеющимися данными была затруднена, поскольку они все заполнялись от руки. Для формирования выборок и построения графиков данные необходимо было сначала преобразовать в цифровой вид, что занимало немало времени. Вследствие чего встал вопрос о разработке централизованной базы данных.

В качестве системы управления базами данных было принято использовать реляционную СУБД с открытым исходным кодом – MariaDB.

Данные в базу вносятся комбинировано. Часть вносится вручную оператором, а другая часть автоматически.

Ручной ввод данных оператором осуществляется в таблицах «Водоподготовка #1», «Водоподготовка #2» (раздел «Качество воды»); в таблицах «Счетчики на скважинах Апвг», «Счетчики на скважинах Пмвг» (раздел «Расход воды»).

Автоматический ввод данных осуществляется в таблице «Подача воды в сеть» (раздел «Качество воды»); в таблицах «Наработка водоподготовки #1», «Наработка водоподготовки #2» (раздел «Наработка оборудования»).

Автоматический сбор данных реализован с помощью python скрипта. Раз в сутки происходит опрос счетчиков, установленных на трубах для подачи воды в сеть потребителям. Полученные данные автоматически заносятся в базу.

Внесение данных о времени наработки происходит практически также. Данные берутся с контроллера, который считает общую наработку в часах. Данные вносятся в базу, где производится дополнительный расчет суточной наработки – разница текущего и предыдущего дня.

Структура базы данных представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура базы данных

Разделы базы данных: Качество воды; Расход воды; Нарботка оборудования. Раздел «качество воды» состоит из трех таблиц: Водоподготовка 1; Водоподготовка 2; Подача воды в сеть.

Раздел «расход воды» состоит из трех таблиц: Счетчики воды на скважинах Алексенко-Протвинского водоносного горизонта (Апвг); Счетчики воды на скважинах Подольско-Мячковского водоносного горизонта (Пмвг); Счетчики на подаче в сеть.

Раздел «наработка оборудования» состоит из двух таблиц: Нарботка водоподготовки #1; Нарботка водоподготовки #2.

Для более удобного взаимодействия оператора с базой данных был создан веб-ориентированный клиент (рис. 2). Он разработан при помощи фреймворка Bootstrap, который является свободным набором инструментов для создания сайтов и веб-приложений. Включает в себя HTML- и CSS-шаблоны оформления для типографики, веб-форм, кнопок, меток, блоков навигации и прочих компонентов веб-интерфейса, включая JavaScript-расширения.

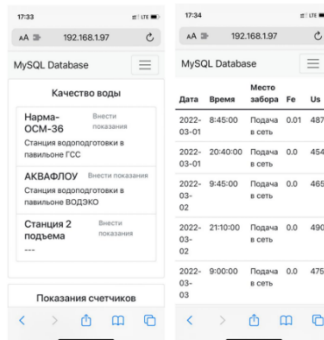


Рисунок 2 – Веб-клиент для базы данных

**Список использованных источников:**

1. MariaDB [Электронный ресурс]. URL: <https://mariadb.com/> (Дата обращения: 14.03.22).

2. Обработка Excel файлов с использованием Python [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/99923/> (Дата обращения: 14.03.22).

© Фрасын П.Г., Масанов Д.В., 2022

УДК 628.47

**ВЛИЯНИЕ ФОТОГРАММЕТРИИ  
НА ИНДУСТРИЮ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА**

Черных Ю.А.

Научный руководитель Кожина М.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Поволжский государственный  
технологический университет», Йошкар-Ола*

Архитектурная фотограмметрия полностью изменилась за последнее десятилетие в связи с разработкой новых цифровых камер, новых алгоритмов извлечения данных и обработки изображений, а также новых пакетов программного обеспечения, такого как ScanIMAGER, Coordinate Transformer, PhotoTransformator Professional и другие.

Фотограмметрия представляет собой метод измерения трехмерных координат, в котором фотографии используются в качестве основного средства измерений. Основным принципом фотограмметрии является воздушная триангуляция. Делая фотографии из двух и более разных мест, можно развить так называемую «линию обзора» от каждой камеры к точкам на объекте. Эти лучи пересекаются для получения трехмерных координат точек объекта исследования.

В фотограмметрии есть два основных направления:

1. Метрическая фотограмметрия: занимается точными измерениями и вычислениями на фотографиях в отношении размера, формы и положения фотографических элементов и получения другой информации, такой как координаты элементов, областей, объемов.

2. Интерпретирующая фотограмметрия: занимается распознаванием и идентификацией фотографических особенностей фотографии, таких как форма, размер, тень, узор с целью повысить ценность и «интеллектуальность» информации, видимой на фотографии.

Архитектурная фотограмметрия используется для создания нового уровня точности архитектурных визуализаций и исследований. У архитекторов есть много возможностей для вывода данных с помощью программного обеспечения для фотограмметрии, например, для вывода данных в виде векторных объектов для САД-программ. В конечном итоге

фотограмметрия – это практичный архитектурный инструмент, используемый во всех областях строительства, планирования и за его пределами.

В ходе развития технологий, архитекторы все чаще используют фотограмметрию в следующих этапах проектирования:

Планирование генплана основывается на тщательных измерениях для получения точного результата. Преобразовывая топографическую съемку в 3D-рендеринг, фотограмметрия может помочь архитекторам разобраться в местности до начала строительства. Четкий и точный рендеринг поможет определить важные элементы дизайна еще до этапа проектирования.

При создании нового проекта необходимо принять множество архитектурных и конструктивных решений, таких как ориентация здания, размер и общая планировка. Эти решения становятся намного проще, если они разработаны с применением точного визуального рендеринга. Что дает возможность пробовать новое и экспериментировать с разными идеями в безопасном виртуальном пространстве.

Визуализация проекта здания полезна не только в процессе проектирования, но и во время строительства. Ход строительства можно увидеть в режиме реального времени с помощью программного обеспечения для архитектурной фотограмметрии.

Фотограмметрия является ценным средством в маркетинге и рекламе, выступая конкурным преимуществом при продаже крупных проектов или привлечении инвесторов. При помощи реалистичного объема, гораздо проще продать концепцию проекта. Программное обеспечение для фотограмметрии может даже добавить реалистичную среду вокруг объекта проектирования, что может помочь создать четкое видение пространства, которое еще не завершено.

Хотя компьютерное программное обеспечение никогда не заменит великих архитекторов и дизайнеров, оно по-прежнему является свидетельством роста технологий в этой отрасли. Реалистичные изображения, доступные благодаря фотограмметрии, помогают отрасли развиваться. Использование фотограмметрии – отличная возможность повысить маркетинговый потенциал при минимальных затратах труда и средств. Ожидается, что в ближайшие несколько лет фотограмметрия станет более распространенной во всех отраслях промышленности: архитектуре, инженерии, геодезии, криминалистике, производстве, кино и игровой индустрии.

#### **Список использованных источников:**

1. Безменов В.М. Фотограмметрия. Построение уравнивание аналитической фототриангуляции. Учебно-методическое пособие. Казань, 2009.

[https://kpfu.ru/portal/docs/F\\_1746134501/Bezmenov.V.M.Fotogrammetriya.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F_1746134501/Bezmenov.V.M.Fotogrammetriya.pdf)



2. Краснопевцев Б. В. ФОТОГРАММЕТРИЯ Учебное пособие по фотограмметрии для студентов 3 курса специальности "картография", 2008. <http://www.miiigaik.ru/upload/iblock/eec/eec5799a3ead6011d48e5c3c2e4a7f2c.pdf>

3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. М.: ЦНИИГАиК, 2002. 100 с. <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/7a9/4293855528.pdf>

© Черных Ю.А., 2022

**УДК 621.01**

## **КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЛЬТА FDM ПРИНТЕРА**

Ширинина П.Ю., Захаров О.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный  
технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов*

В последние годы отмечен значительный спрос на аддитивные технологии в промышленности, в частности в машиностроении. Ключевым преимуществом аддитивных технологий является возможность повышать сложность конструкции без пропорционального увеличения цены изготовления детали. Развитию методов аддитивного производства посвящено большое число исследований [1-3]. Применяемые в настоящее время 3D-принтеры можно разделить на три группы по кинематической структуре. Первая группа имеет традиционную кинематику с последовательными линейными перемещениями по осям декартовой системы координат. Вторая группа использует кинематическую схему роботов с последовательными вращательными звеньями. Третья группа принтеров построена на основе дельта кинематики и платформе Стьюарта [4-6]. Примерно 90% всех 3D-принтеров составляет первая группа. Вторая группа принтеров имеет сравнительно высокую стоимость и не получила широкого применения. Третья группа дельта принтеров имеет определенные конкурентные преимущества, но получила ограниченное применение.

Дельта кинематика в начале применялась для роботов различного назначения [7-10]. Многие решения, полученные для дельта роботов, можно с успехом применить для 3D-принтеров. Во многих работах указано, что 3D-принтеры на основе дельта кинематики имеют преимущества перед традиционной последовательной кинематикой. Основным преимуществом называется высокая скорость перемещения экструдера за счет параллельного движения платформы от трех пар тяг. Важным достоинством дельта 3D-принтера является сравнительно невысокая стоимость из-за небольшого количества компонентов. Все это должно было способствовать

широкому внедрению дельта кинематики. Однако дельта кинематика получила ограниченное применение для принтеров. В настоящее время известны только FDM принтеры для персонального использования с кинематикой дельта. Главной причиной такого состояния дел можно считать недостаточную точность печати, обусловленную сравнительно низкой точностью позиционирования экструдера. Вместе с тем открытым остается вопрос о высокой скорости печати при дельта кинематике. На практике не удастся реализовать высокие скорости. Согласно техническим данным производителей, дельта принтеры имеют рабочие скорости, равные или меньше традиционных 3D принтеров.

В настоящей статье сделана попытка разобраться в преимуществах и недостатках дельта кинематики для использования в 3D-принтерах. Для этого разработана математическая модель обратной кинематики, создана программа MATLAB, проведено моделирование кинематики с помощью этой программы. В общем случае решают две задачи кинематики: прямую и обратную. Эти задачи были вначале решены для дельта робота. Дельта кинематика робота описана во многих работах, например [11]. Математическая модель для схемы дельта 3D-принтера изложена в [12].

Основой для моделирования линейных скоростей рычагов и экструдера выступает рассмотренная математическая модель обратной кинематики. В статье исследованы перемещения и скорости экструдера, закрепленного на подвижной платформе принтера, и рычагов по трем штангам. Моделирование выполнено для четырех примеров (рис. 1): а – прямая на горизонтальной плоскости, б – вертикальная прямая, в – дуга окружности на плоскости, г – произвольная прямая в рабочей зоне принтера.

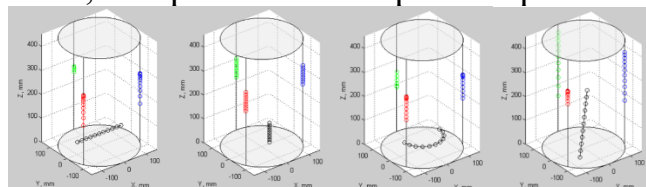


Рисунок 1 – Траектории движения экструдера

Расчетные перемещения трех рычагов даны на рис. 2 в зависимости от времени  $t$ . Как видно из рис. 2, перемещения имеют нелинейный вид. Кроме нелинейности перемещения характеризуются переменной знака, то есть за один цикл перемещения осуществляются как вверх, так и вниз по штангам. Для приведенных примеров, знакопеременность перемещений имеется у одного из трех рычагов. Исключение составляет вариант б (вертикальное перемещение экструдера). В этом случае перемещения всех рычагов линейны.

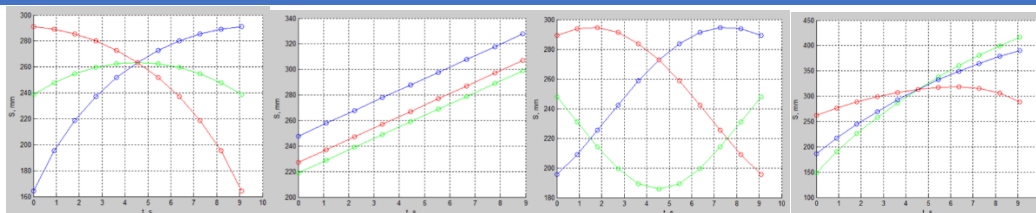


Рисунок 2 – Перемещения рычагов по штангам

Расчетные скорости экструдера и трех рычагов даны на рис. 3 в зависимости от времени  $t$ . Скорости получены численным дифференцированием перемещений по времени. Было задано, что перемещения по траекториям рис. 1 выполняются за 10 с. Использовались те же цвета для изображения трех рычагов. На рис. 3б все скорости представляю собой прямые и накладываются друг на друга.

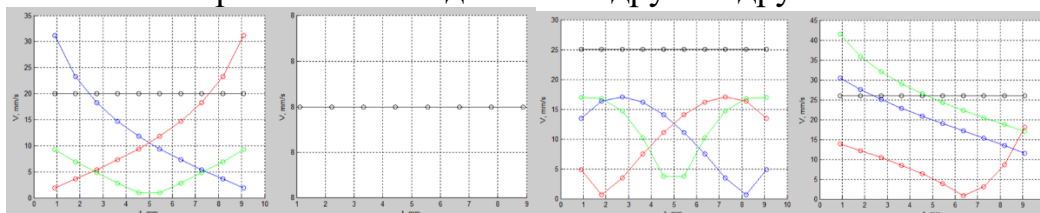


Рисунок 3 – Скорости перемещения экструдера и рычагов

Анализа рис. 3 и других результатов моделирования показал следующее. Скорости перемещения рычагов по штангам значительно до 30 раз меняются во времени. При этом средняя скорость перемещения экструдера соизмерима, а в некоторых случаях меньше, чем линейные скорости перемещений рычагов по штангам. Только для одного варианта скорости (рис. 3б) равны. Для обеспечения равномерной скорости экструдера требуется значительные ускорения отдельных рычагов. Это приводит к неравномерным условиям трения на отдельных штангах и в конечном счете к возникновению вибраций. Обеспечить равномерность скоростей и ускорений для произвольных траекторий при кинематике дельта только на расчетном уровне не представляется возможным. Требуются конструктивные решения 3D-принтера, обеспечивающие виброустойчивость при значительных ускорениях на одной или двух опорах.

#### Список использованных источников:

1. Зверовщиков А.Е. Исследование точности размеров, обеспечиваемых технологией 3D-печати / А.Е. Зверовщиков, Д.А. Шелахаев, С.А. Нестеров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2019. № 1 (49). С. 66-78.

2. Оптимизация селективного лазерного сплавления методом оценки множественных параметров качества в двигателестроении / А.И. Хаймович, В.И. Санчугов, И.С. Степаненко, В.Г. Смелов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 6 (86). С. 41-46.

3. Наномодификация приповерхностных слоев при электроэрозионной обработке оксидных нанокompозитов / С.Н. Григорьев, М.А. Волосова, А.А. Окунькова и др. // Вестник МГТУ Станкин. 2020. № 4 (55). С. 11-22.
4. Ганиев Р.Ф. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и их приложения в современной технике / Р.Ф. Ганиев, В.А. Глазунов // Доклады академии наук. 2014. Т. 459. № 4. С. 428-431.
5. Возможные применения механизмов параллельной структуры / С.В. Хейло, В.А. Глазунов, М.А. Ширинкин, А.В. Календарев // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 5. С. 19.
6. К расчету механизмов типа DELTA с линейными приводами и различным числом степеней свободы / П.А. Ларюшкин, К.Г. Эрастова, Г.С. Филиппов, С.В. Хейло // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2019. № 3. С. 19-29.
7. Хейло С.В. Определение рабочей зоны манипуляторов параллельной структуры / С.В. Хейло, П.А. Ларюшкин // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2013. № 2 (191). С. 27-31.
8. Сапрыкина Н.А. Пространственный синтез линейного дельта-робота с параллельной кинематикой / Н.А. Сапрыкина, А.В. Проскоков, А.А. Сапрыкин // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 1. С. 47-52.
9. Садилов М.Д. Моделирование движения дельта-робота по заданной траектории с целью определения силовых факторов, действующих на его приводы и шарниры / М.Д. Садилов, Г.А. Тимофеев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 11. С. 22-30.
10. Хомченко В.Г. Метод виртуальных поворотов в решении обратной задачи кинематики манипуляторов платформенного типа / В.Г. Хомченко // Омский научный вестник. 2015. № 2. С. 41-44.
11. Мирзаев Р.А. Исследование кинематики манипулятора параллельной структуры (дельта-механизма) / Р.А. Мирзаев, Н.А. Смирнов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. 2012. № 4. С. 46-50.
12. A.V. Kochetkov, T.N. Ivanova, L.V. Seliverstova, O.V. Zakharov. Kinematic Error Modeling of Delta 3D Printer. Materials Science Forum. 2021. Vol. 1037, pp 77-83.

© Ширнина П.Ю., Захаров О.В., 2022

**УДК 504.3.054; 628.47**

**КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ  
ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ  
ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
НЕПОСРЕДСТВЕННОГО СЖИГАНИЯ  
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (ТКО)**

Аношина А.В., Бирюкова А.А., Фролов А.В., Седяров О.И.  
*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Мусор в России – одна из острейших экологических и социальных проблем. Ко второй половине 2010-х в Российской Федерации в результате хозяйственной деятельности было накоплено 30 млрд. тонн отходов. Согласно паспорту федерального проекта «Чистая страна» на территории России выявлено 340 объектов накопленного вреда окружающей среде, 44 из которых планируется ликвидировать в 2024 году. Также на территории страны расположено не менее 191 несанкционированной свалки в границах городов, каждая из которых имеет площадь от 2 до 143 га и согласно приказу Президента от 1.01.2018 они должны быть устранены. На замену санкционированным и несанкционированным свалкам только в Московской области планируется построить 4 мусоросжигательных завода, что позволит снизить объём захораниваемых там отходов на 30%, и ещё 1 в Казани, где будет выполнен переход к модели «Нулевое захоронение отходов» [1].

По данным Минприроды ежегодно в России образуется около 8 млрд. тонн отходов производства и потребления, из 50-60 млн. тонн это твёрдые коммунальные отходы (ТКО). Из всей этой массы лишь около 5% процентов отправляется на переработку, а остальное захоранивается [2].

С принятием в конце 2017 года федерального закона №503 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» в России был установлен новый порядок обращения с ТКО («мусорная реформа»), целью которого было решение проблемы больших масштабов захоронения отходов и несанкционированных свалок. Федеральный проект «Экология» предусматривает, что к 2024 году на обработку (сортировку) ТКО должно отправляться 36% от общей массы за счёт выстраивания системы раздельного сбора в масштабах страны и возведения заводов по их обработке общей мощностью 31,7 млн. тонн [3, 4].

При сжигании твёрдых коммунальных отходов выделяются вещества, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду и людей, что вызывает озабоченность населения и государства. В связи с этим на заводах по термической обработке отходов необходимо наличие комплексной

системы высокоэффективной очистки выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу, которая поможет минимизировать его воздействие на состояние природной среды.

Разработка данной системы начинается уже с анализа и подготовки полученных заводом отходов. Согласно данным Академии Коммунального Хозяйства им. К.Д. Панфилова ТКО имеют разнообразный состав (табл. 1). При этом процентные соотношения морфологического состава ТКО весьма условны, так как на соотношение составляющих оказывают влияние уровень благоустройства, район проживания и качества жизни жителей, проживающих в этом районе, сезоны года, климатические и другие условия. Также данные факторы сказываются и на фракционном составе отходов. Эти характеристики учитывают при сборе, обработке и утилизации ТКО, поскольку они влияют на химико-физический состав топочных газов при сжигании.

Таблица 1 – Морфологический состав ТКО, % по массе [5, 6].

Компонент	Справочник ТБО, АКХ им. К.Д. Панфилова 2001 г	Терсхема по обращению с отходами 2018 г. Московской области
Пищевые отходы	32-39%	34%
Бумага (картон)	26-35%	19%
Древесина	2-5%	6%
Металлы (черные, цветные)	3,5-5,5%	4%
Текстиль	4-6%	3%
Кости	1-2%	
Стекло	4-6%	12%
Кожа, резина	2-3%	
Камни, штукатурка	1-3%	
Полимерные материалы (пластмасса)	3-4%	14%
Прочее	1-2%	2%
Отсев (менее 15 мм) (смет с территории (земля, песок, камни))	4-6%	6%

Так, например, извлечение металлов и стекла приводит к уменьшению зольности и увеличению низшей теплоты сгорания на рабочую массу на 2-5%, а уменьшение фракционной составляющей путём дробления – к повышению качества сжигания [7].

Согласно ФЗ №7 от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» для мусоросжигательных заводов обязательным является применение наилучших доступных технологий (НДТ) с целью снижения негативного воздействия на атмосферу дымовых газов. В справочниках ИТС 9-2015 и ИТС 9-2020 представлены варианты НДТ и технологические схемы их использования с подробным описанием процессов и используемых материалов, оборудования. Подобные технологии должны применяться на всех этапах обработки ТКО.

Рассмотрим краткую характеристику технологических решений, принятых для завода по термической переработке ТКО в Московской области, где в качестве технологии обезвреживания ТКО предусмотрено сжигание на колосниковой решетке.

На завод будут направляться только те отходы, которые непригодны для вторичного использования и не содержат опасные компоненты. Данная

процедура осуществляется на перегрузочных станциях, оборудованных сортировочными мощностями.

В качестве основного оборудования на заводе приняты следующие установки:

котел паровой с колосниковой решеткой – 3 ед. (Е-95,2-7,0-430 паропроизводительностью 95,2 т/час каждый, с температурой острого пара на выходе 430°С, с давлением 7,0 МПа), рассчитанные на теплоту сгорания топлива 9100 кДж/кг с возможностью включения вспомогательных горелок газового топлива при теплоте сгорания ниже 6000 кДж/кг;

конденсационная паровая турбина типа Кп-77-6,8 мощностью 70 мВА – 1 ед.;

генератор паровой турбины – 1 ед.

воздушный конденсатор производства;

трехступенчатая система газоочистки.

Как вспомогательное топливо для котла используется природный газ, расход которого на один котёл составляет 4560 нм<sup>3</sup>/час в период запуска, а максимальный часовой расход с учётом расхода газа на «подсветку» (40%) – 7612 нм<sup>3</sup>/час.

Для оптимизации горения в котёл подаётся избыточное количество воздуха, который забирается из приёмного отделения бункера ТБО, что препятствует распространению запаха и пыли в окружающей среде. Воздух из котельного отделения подаётся над колосниковой решёткой, позволяя повысить эффективность доокисления продуктов неполного сгорания. Избыточное тепло от сжигания ТБО используется для нагревания воды и создания пара для паровой турбины [8, 9].

Для очистки отходящих дымовых газов предусмотрена трехступенчатая очистка с удалением очищенных газов в атмосферный воздух через дымовую трубу высотой 98 м.

На первом этапе для очистки отходящих газов от диоксинов, фуранов, ртути, оксидов серы будет производиться подача извести, воды и активированного угля в распылительный адсорбер, в котором можно регулировать подачу реагентов в зависимости от концентрации загрязняющих веществ. Температура в камере вторичного дожигания составит от 850 до 1260°С, что способствует разложению оксидов азота на азот и воду.

Второй этап очистки – процесс сухой очистки дымовых газов. Для защиты рукавов и сепарации загрязняющих веществ перед пуском в рукавные фильтры загружают присадки (предварительное покрытие фильтрующих рукавов). Очистка в фильтрах предназначена для удаления частиц пыли и доудаления тяжёлых металлов в присутствии гашёной извести и активированного угля, поступающих через мультишнековый

питатель. Расход реагентов уменьшают за счёт их рециркуляции. Эффективность данной ступени составляет около 99%.

Третий этап очистки предназначен для восстановления оксидов азота из дымовых газов до молекулярного азота, а также доокисления диоксинов и фуранов. Процесс происходит в парах катализатора с использованием аммиачной воды.

В процессе горения ТКО будут выделяться такие загрязняющие вещества как: пыль, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, хлористый водород, фтористый водород, ртуть, свинец, хром (III), цинк, бенз(а)пирен, диоксины, фураны.

Таким образом, проблема образования большого количества отходов является актуальной проблемой для России и решается уже на уровне законодательства, которое предполагает уменьшение количества свалок и увеличение количества мусоросжигательных заводов. Для технологии сжигания созданы справочники ИТС по НДТ, позволяющие создать такую технологическую схему, которая будет эффективна и позволит снизить воздействие предприятия на окружающую среду и атмосферу в частности.

#### **Список использованных источников**

1. Паспорт приоритетного проекта «Снижение негативного воздействия на окружающую среду посредством ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде и снижения доли захоронения твердых коммунальных отходов» : протокол от 21.12.2016. – 2016. – 15 с.

2. Постановление Правительства РФ №2549 : О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Охрана окружающей среды». – 2021. – 21 с.

3. Паспорт федерального проекта «Формирование комплексной системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами» : Приложение к протоколу заседания проектного комитета по национальному проекту «Экология» от 21 декабря 2018 г. №3. – 2018. – 87 с.

4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году». – М. : Минприроды России; МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020. – 1000 с.

5. Систер, В. Г. Справочник «Твердые бытовые отходы: Сбор, транспортировка и обезвреживание» / В. Г. Систер, А. Н. Мирный, Л. С. Скворцов. – М. : Акад. коммунального хозяйства К.Д. Памфилова, 2001.

6. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Московской области : Приложение к постановлению Правительства Московской области от 22.12.2017 №984/47. – Красногорск, 2018.

7. Скворцов, Д. И. Экологические аспекты очистки исходящих газов при сжигании ТБО на мусоросжигательном заводе №2 / Д. И. Скворцов //



Материалы V Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2013.

8. Паульштайнер, Р. Австрийская система очистки дымовых газов / Р. Паульштайнер, М. Граф, И. Штубенволь // Твёрдые бытовые отходы. – 2007. – № 4. – С. 59-63.

9. Прядко, А. Л. Современные МСЗ в системе санитарной очистки территорий мегаполисов / А. Л. Прядко // Твёрдые бытовые отходы. – 2011. – № 10. – С. 24-29.

© Аношина А.В., Бирюкова А.А.,  
Фролов А.В., Седяров О.И., 2022

УДК 66.011

### ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ МАСШТАБНОГО ПЕРЕХОДА ПО ДАННЫМ О СТРУКТУРЕ ПОТОКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АППАРАТОВ

Овсянников Д.А., Белоусов А.С., Абрамин В.Ю.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

При разработке новых аппаратов в химической технологии часто наблюдается снижение их эффективности при переходе от лабораторного масштаба аппаратов к промышленному (явление масштабного перехода). Практика разработок обычно приводит к тому, что приходится проводить исследования на технологических стендах разных размеров, вплоть до промышленных [1-2]. Этот путь приводит к значительным затратам времени и средств. Однако, в ряде случаев, возможно уменьшение затрат, например, когда причиной масштабного перехода являются чисто гидродинамические процессы [2].

В ряде исследований установлено, что эти процессы проявляются в виде неоднородностей структуры потоков в аппаратах большого размера [2-4]. Таким образом, возникает необходимость гидродинамической оценки величины масштабного перехода, а также влияния режимных и конструктивных изменений, направленных на повышение эффективности аппаратуры.

Установлено, что применение метода гидродинамического моделирования проходит различные этапы, включает методики и критерии оценки, изложенные, например, в обзоре [2]. Применяются экспериментальные исследования структур потоков на лабораторных и промышленных «холодных» стендах (то есть чисто гидродинамических). Для исследования влияния режимных и конструктивных изменений необходимо математическое описание структур потоков, выявление

эффективных критериев оценки изменения структур, отработка методов определения параметров моделей.

Среди гидродинамических моделей структуры потоков часто применяется диффузионная модель, которая отражает процессы перемешивания среды турбулентными пульсациями. Модель основана на представлении о том, что перемещение элементов потока складывается из суммы двух движений: конвективного движения со скоростью  $W$ , а также возвратного диффузионного течения, с коэффициентом

пропорциональности  $D$ : 
$$\frac{\partial C}{\partial \theta} + \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{Pe} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1),$$
 где  $\theta$  – безразмерное

время:  $\theta = t/\bar{t}$ ;  $\bar{t}$  – среднее время пребывания в аппарате;  $x$  – безразмерная координата:  $x=z/L$ ;  $L$  – общая длина экспериментального участка;  $C=c/C_0$  – безразмерная концентрация трассера;  $Pe = (W \cdot L)/D$  – эффективный параметр Пекле. Решения этой модели получаются разными в зависимости от граничных условий на входе и выходе потока. Обозначим эти решения следующим образом:  $M1$  – при конечных граничных условиях;  $M2$  – конечные условия на одном торце (полубесконечные условия);  $M3$  – бесконечные условия на обоих торцах. Для проточного аппарата с конечными граничными условиями (условия Данквертса) нормированное решение модели в случае импульсного возмущения по трассеру на входе может быть представлено в виде ряда:

$$C(t) = \sum_{i=1}^{\infty} (2 \cdot \lambda_i^2) \cdot \exp(Pe/2 + Pe \cdot t/4 - 4 \cdot t \cdot \lambda_i^2/Pe) / \left\{ (1 + Pe/2) \cdot \lambda_i \cdot \sin(2 \cdot \lambda_i) - [Pe/2 + Pe^2/16 - \lambda_i^2] \cdot \cos(2 \cdot \lambda_i) \right\} \quad (2),$$

где  $\lambda_i$  – корни уравнения:  $tg(2 \cdot \lambda_i) = (Pe \cdot \lambda_i/2) / (\lambda_i^2 - Pe^2/16)$  (3).

Для граничных условий  $M2$  и  $M3$  решения приведены в [1].

В самом общем случае для определения параметров модели может быть применен метод нелинейного оценивания [3-5]. Но, как показал опыт таких расчетов, при этом требуется применять довольно сложные методы поиска глобального экстремума. На практике чаще применяются методы определения искомых параметров из некоторых характеристик экспериментальных кривых отклика. В качестве таких характеристик используются: максимальное значение плотности вероятности  $C_{max}$ , соответствующее безразмерное время  $\Theta_{max}$ , центральные моменты экспериментальной функции распределения.

Предварительно в работе была выполнена оценка возможностей решения модели  $M1$  для различных чисел  $Pe$ . Оказалось, что до значений  $Pe=10$  корректность полученных решений достаточно хорошо обеспечивается по критерию:  $\int_0^{\infty} C(t) \cdot dt = 1$  (4).

Условие (4) соблюдается при числе членов ряда (2)  $N=100$ . В случае  $Pe>11$  не обеспечивается сходимость ряда, происходит сингулярный разрыв

решения. В табл. 1 представлены результаты расчетов характеристики  $C_{\max}$  для моделей М1, М2, М3 для интервала  $Pe=1-10$ .

Таблица 1 – Значение критерия  $C_{\max}$  для диффузионной модели с краевыми условиями М1, М2, М3 при значениях  $Pe=1-10$ .

Критерий $Pe$	1	2	4	6	8	10
М1	0,905	0,905	0,95	1,008	1,085	1,145
М2	0,56	0,62	0,745	0,84	0,93	1,1
М3	0,355	0,45	0,6	0,718	0,815	0,915

Из результатов, полученных в табл. 1 можно сделать следующие выводы. Во-первых, влияние граничных условий для одних и тех же уравнений диффузионной модели настолько значительно, что решения для вариантов М1, М2 и М3 краевых условий логично рассматривать просто как отдельные модели. Во-вторых, чувствительность моделей М2 и М3 к изменению структуры потоков намного выше, чем у М1. Учитывая этот факт, а также ограниченность решений модели М1 по диапазону чисел Пекле при анализе масштабного перехода целесообразно ориентироваться на модель М3 (или М2). Для оценки качества второго локального критерия  $\Theta_{\max}$  можно ориентироваться на номограмму, представленную на рис. 1.

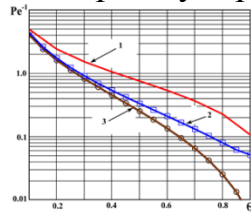


Рисунок 1 – Зависимость локального критерия  $\Theta_{\max}$  от параметра Пекле: 1 – для модели М3; 2 – для модели М1; 3 – приближенный вариант для модели М1 (действует в диапазоне  $Pe^{-1}=0,1-0,35$ ).

Как видно из графиков на рис. 1 в диапазоне  $Pe=1-10$  критерий  $\Theta_{\max}$  обеспечивает достаточную чувствительность от характеризующего структуру потоков параметра Пекле. Однако, реальная оценка эффективности критерия  $\Theta_{\max}$  требует оценить также уровень помех для экспериментальной кривой отклика. С этой целью, а также для определения эффективности интегрального критерия в виде отношения параметров Пекле в аппаратах разного размера, выполнена статистическая обработка данных из работ [2]. Для лабораторного и промышленного эксперимента проводилось добавление гауссовского шума  $\xi_i$  ( $\sigma$ ) с нулевым средним значением и среднеквадратичным отклонением  $\sigma$ , моделирующим точность эксперимента:  $C_{i,e} = C_i(\theta_i, Pe_0) + \xi_i(\sigma)$  (5).

Уравнения связи для моментов различного порядка получаютс я сверткой исходного уравнения (1) по координате  $\theta$  [1,3]. В случае системы граничных условий М3 уравнения связи моментов и параметра  $Pe$  для модели (1) имеют следующий вид:

$$M_2 = 2/Pe + 8/Pe^2 \quad (6), \quad M_3 = 2/Pe^2 + 56/Pe^3 \quad (7),$$

$$M_4 = 12/Pe^2 + 216/Pe^3 + 960/Pe^4 \quad (8).$$

Моменты  $M_k$  определялись по синтезированным функциям отклика  $C_{i,e}$ .

Результаты одной из реализаций наложения шума представлены на рис. 2.

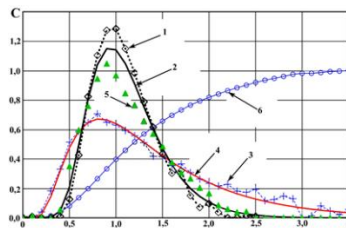


Рисунок.2 – Структура потоков в колонных тарельчатых аппаратах различного масштаба: 1, 2 – импульсная экспериментальная и расчетная кривые для лабораторной модели ( $D=0,8$  м.); 3, 4 – импульсная экспериментальная и расчетная кривые для промышленного аппарата ( $D=5$  м.); 5 – импульсная кривая для модернизированной конструкции аппарата; 6 – интегральная кривая для промышленной конструкции.

Эффективность технологического параметра при увеличении диаметра колонны (рис. 2) с 0,8 до 5,0 м. падала до 50%. После конструктивной модернизации эффективность промышленного аппарата повысилась до 76% от лабораторного значения. Оценка по критерию  $\Theta_{\max}$  составила соответственно 80 и 90% для промышленной и модернизированной конструкции и значительно отличалась от технологического показателя. Оценки по критерию  $C_{\max}$  получены соответственно 54 и 90%, что неудовлетворительно для модернизированной конструкции. Для величины масштабного перехода возможна также приближенная оценка через отношение полученных по методу моментов значений критериев Пекле для лабораторного и промышленного аппаратов. В данном примере получено 32 и 75%, что точно оценивает эффективность модернизированного аппарата.

В результате исследования были сделаны следующие выводы: предложенные методики анализа оценки критериев масштабного перехода через статистическую обработку синтезированных функций отклика достаточно эффективны; для оценки масштабного перехода целесообразно пользоваться критерием Пекле модели МЗ (с бесконечными граничными условиями).

#### Список использованных источников:

1. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2018. – 403 с.
2. Розен А.М., Костанян А.Е. К вопросу о масштабном переходе в химической технологии // Теоретические основы хим. технологии. - 2002, т. 36, №4. - С.339-346.

3. Сажин Б.С., Кочетов Л.М., Белоусов А.С. Удерживающая способность и структура потоков в вихревых аппаратах // Теоретические основы хим. технологии. 2008. т. 42. №2. С. 125–135.

4. Белоусов А.С., Сажин Б.С. Закономерности структур течений в аппаратах для обработки волокнообразующих полимеров при активных гидродинамических режимах // Химические волокна. 2007. № 6. С. 40–43.

5. Белоусов А.С., Сажин Б.С. Диффузионная модель перемешивания в технологических аппаратах при малых числах Пекле // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 2. – С. 96–100.

© Овсянников Д.А., Белоусов А.С., Абрамин В.Ю., 2022

УДК 66.011

## АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКОЙ СРЕДЫ

Овсянников Д.А., Белоусов А.С.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Гидродинамическая модель развивающихся трубных вязких течений (МРТ-модель) используется в исследованиях различных процессов и устройств [1-4]. В данной работе рассматривается новый аспект применения этой гидродинамической модели: оценка точности расчетов полей скоростей в системах вычислительной гидродинамики (CFD – computational fluid dynamics). В результате расчетов по системам CFD обычно получается очень большой набор данных. Число точек расчета может составлять десятки и сотни тысяч и возникает проблема: сколько точек, и в каких сечениях необходимо выбирать для оценки точности расчетов полей скоростей. Известно, что для схемы МРТ допустимы аналитические решения. Тогда появляется задача – использовать эти решения для оценки точности расчетов полей скоростей в CFD.

Для установления возможности применения модели также для турбулентного трубного течения нами выполнены расчеты в пакете CFD – ANSYS. Оценка состояния кинетической энергии турбулентности в трубном потоке показала, что структура течения подобна ламинарному пограничному слою. Таким образом, оценки, полученные по модели МРТ, могут быть действительны и для этих режимов.

Расчеты, выполненные для структурно близких цилиндрических устройств [5-6] показали, что, по мере движения потоков от входа к выходу в них происходит изменение структуры течений, также близкое к модели МРТ. Следовательно, оценки приближенного анализа внутренних течений

в рамках модели МРТ могут быть полезны и для турбулентных потоков в аппаратах. Тем более, что для таких течений в последние годы выявились проблемы в точности самих моделей турбулентности [7-8].

Анализ близких инженерных областей – гидравлики, процессов и аппаратов – показал, что в них нет расчетных аналогов для задачи CFD. В этих областях рассматриваются в основном установившиеся течения или системы с сосредоточенными параметрами; инженерные методы не используют напрямую особенности краевых задач и уравнения гидромеханики. Однако, инженерный подход позволяет получить основные решения в виде формул, что дает возможность применить статистические оценки точности и адекватности этих моделей.

Необходимый подход к течениям как к краевой задаче существует в смежных фундаментальных областях – теории явлений переноса, механике сплошных сред (МСС). Обзор работ по задаче МРТ в механике сплошных сред показал, что публикации по развивающимся течениям изложены в различных периодических изданиях, не систематизированы, поэтому при их анализе возникают новые проблемы. А именно, решения задач, называемые аналитическими, здесь не получаются в виде инженерных формул, а по сути являются численными расчетами поля осевой скорости; содержат совершенно разные способы упрощений исходных уравнений; имеют разные математические подходы. В некоторых вариантах решений содержатся полуэмпирические уточнения предыдущих публикаций, по сути затрудняющие анализ краевой задачи.

Исходя из изложенного в данной работе была предложена группировка и обобщенная классификация методов моделирования МРТ по следующим характеристикам: схемам идеализации исходной задачи; граничным условиям; математическим алгоритмам расчета.

Для этого рассмотрим уравнения Прандтля пограничного слоя для осесимметричного потока в круглой трубе:

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial r} + \nu \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} \right), \quad (1)$$

**i3/i4**
**i2**
**i1**

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

**i3**

где  $V_z, V_r$  – скорости, соответственно по оси и по радиусу,  $\nu$  – вязкость,  $\rho$  – плотность среды. Символы  $i_x$  под некоторыми переменными и комплексами и двойные подчеркивания означают, что в различных способах решения, при идеализации этих уравнений, данными параметрами пренебрегают, ввиду их возможной малости.

Предложенная группировка и классификация подходов к решению уравнений Прандтля для модели МРТ представлена в табл. 1. Классификационные позиции в таблице формировались из следующих

соображений. Идеализация уравнений (1-2) проводилась в основном на основе малости значений их членов. Модель М1 дополнялась условием  $V_z = f(r, t)$ , которое обеспечило существенное упрощение уравнений Прандтля [9]. Краевые условия на торцах обозначены как «+» точные, «-» мягкие. Так как в модели М1 ставилась задача установления выходного профиля под действием скачка давления, то поля здесь не соответствуют обычной краевой задаче. Однако, из работы следует полезная рекомендация – для обобщения данных по модели МРТ целесообразно применять так называемое аффинное преобразование осевой координаты:

$$Z^* = (L \cdot U_0)/(R^2 \cdot \nu) = (4 \cdot L)/(D \cdot Re) \quad (3).$$

Преобразование (3) и обычное безразмерное представление скорости и размера дает возможность сопоставлять результаты расчетов CFD (которые всегда размерные) с любыми другими расчетными и экспериментальными данными задачи МРТ. Характерное значение длины участка развивающегося течения  $Z_{end}^*$  определяется как значение  $Z^*$  на оси потока, отличающееся на 1% от установившегося течения.

Таблица 1 – Основные группы походов к решению задачи МРТ

Группа методов	Идеализация уравнений	Граничные условия		Математический метод	Оценка точности $\Delta Z_{end}^*, \%$
		Вход	Выход		
М1	$i1+i2+i3+V_z = f(r, t)$	-	+	Разложение в ряды, интегральное уточнение	>50%
М2	$i1+i2$	-	+	Двухзонный метод	+17%
М3	$i1+i2$	+	-	Приближенная схема пограничного слоя	-48%
М4	$i1+i2+i4$	+	+	Операционное исчисление	-0,4%

На рис. 1 представлены распределения осевой скорости, полученные по методам М2 и М3.

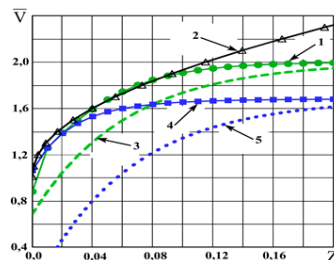


Рисунок 1 – Распределение осевой скорости развивающегося течения: 1 – скорость на оси, эксперимент [4]; 2, 3 – скорость на оси, расчет по моделям М3 и М2; 4, 5 – скорость на радиусе  $\bar{r} = 0,4$ , эксперимент и расчет по модели М2.

Сопоставляя расчеты на рис. 1 с данными табл. 1 видим, что мягкие граничные условия на одном из торцов создают большую погрешность вблизи этого сечения. Следовательно, при анализе расчетов по CFD необходимо брать, по крайней мере, по одному радиальному сечению вблизи каждого из торцов.

На рис. 2 представлены радиальные распределения осевой скорости в различных сечениях по длине трубы, рассчитанные по модели М4.

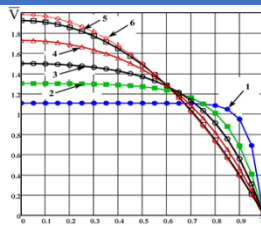


Рисунок 2 – Радиальные распределения осевой скорости по методу M4: 1-6 – Радиальные распределения осевой скорости, в сечениях вдоль трубы, соответственно при значениях  $Z^*$ : 0,00082; 0,0072; 0,0214; 0,0548; 0,1376; 0,248.

Как видно из данных на рис. 2, наибольшая вариация осевой скорости по длине наблюдается на оси (около 100%); достаточно существенная вариация также при  $\bar{r} = 0,4$  (около 70%). Другая область достаточно большой вариации наблюдается при значении  $\bar{r} = 0,85 - 0,9$ .

В итоге, полученные оценки позволяют рекомендовать следующие параметры для оценки точности пространственного моделирования: общая длина участка развивающегося течения, определяемая по скорости на оси; два радиальных сечения и три сечения вдоль оси. В сумме такой подход позволяет уменьшить число точек для анализа точности примерно в тысячу раз по сравнению с общим числом ячеек сетки в CFD.

#### Список использованных источников:

1. Pimenta F., Toda-Peters K., Shen A.Q., Alves M.A., Haward S.J. Viscous flow through microfabricated axisymmetric contraction expansion geometries // *Experiments in Fluids*. - 2020. - V. 61. P.1–16.

2. Talimi V., Muzychka Y.S., Kocabiyik S. A review on numerical studies of slug flow hydrodynamics and heat transfer in microtubes and microchannels // *Int. J. Multiphase Flow*. - 2012. - V.39. P. 88–104.

3. Morini G.L., Yang Y., Chalabi H., Lorenzini M. A critical review of the measurement techniques for the analysis of gas microflows through microchannels // *Exp. Therm. Fluid Sci.* – 2011. – V.35. P. 849–865.

4. Sadri, R.M., Floryan J.M. Entry flow in a channel // *Computer Fluids* – 2002. V.31. – P.133–157.

5. Белоусов А.С., Сажин Б.С. Структура потоков в вихревых устройствах // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2006. - № 5. С.98-103.

6. Белоусов А.С. Гидродинамика турбулентных течений в аппаратах с закрученными потоками // *Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сб. научных трудов Международной конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского. Т. 1.* – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2016. – С. 111-115.

7. Spalart P. R. Philosophies and fallacies in turbulence modeling. // *Progress in Aerospace Sciences*. 2015, №74(1). P. 1–15.



8. Белоусов А.С.. Моделирование процессов и аппаратов на основе систем вычислительной гидродинамики – новые возможности и проблемы // Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS "EESTE-2021"). Программа и материалы пленарной сессии Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума "Современные задачи инженерных наук". Москва, 2021. С. 89-97.

9. Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N. Transport Phenomena / 2th Ed., Wiley India Pvt. Ltd. – 2014. – 912 P.

© Овсянников Д.А., Белоусов А.С., 2022

УДК 53.08

## ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПОМЕЩЕНИЯХ РГУ им. А.Н. КОСЫГИНА

Бондарева А.В., Ищенко А.О., Гвоздкова И.А.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Радиационная безопасность – это состояние защищенности людей и их будущих поколений от вредного для их здоровья воздействия радиоактивного излучения. Радиационная безопасность является составляющей техносферной безопасности, обеспечение которой направлено на снижение загрязнения окружающей среды и предотвращение возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а в случае их возникновения – на сохранение жизни людей и оперативную ликвидацию их отрицательных последствий.

Источники радиационного загрязнения делят на естественные и техногенные. В помещениях РГУ им. А.Н. Косыгина, расположенных в г. Москве, на студентов и сотрудников наибольшее воздействие оказывают естественные источники радиации. Одним из выделяющихся при естественной радиоактивности веществ является инертный радиоактивный газ радон, не имеющий цвета, вкуса и запаха. Уровень концентрации радона в зданиях определяется скоростью его образования и переноса в воздухе. На указанные процессы влияют разные факторы: строительные материалы, тип постройки, уровень вентиляции, наличие прямых выходов воздуха из трубопроводов и т.д. Радон содержится в земных недрах, в циркулирующей по трубам воде, в помещениях, а также в блоках, из которых строят здания.

Он в 7,5 раз тяжелее воздуха. Поэтому концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов обычно ниже, чем на первом этаже.

Современный человек до 80% времени проводит в помещениях, и именно там он подвергается основному воздействию радиации. Несмотря на то, что здания защищают нас от внешних ионизирующих излучений, в стройматериалах, из которых они построены, содержится природная радиоактивность. Основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении. Регулярное проветривание может снизить концентрацию радона в несколько раз. При длительном поступлении радона и его продуктов распада в организм человека возрастает риск возникновения рака легких. Другими источниками повышенного уровня радиации в зданиях являются табачный и автомобильный дым.

При радиоактивных распадах источник испускает ионизирующие излучения. Мерой ионизационного воздействия такого излучения на вещество является экспозиционная доза, которую измеряют в Рентгенах (Р). Действие бытовых дозиметров основано на измерении ионизации за определенное время (мощности экспозиционной дозы). Единица измерения мощности экспозиционной дозы – мкР/ч. Мощность дозы, умноженная на время, называется дозой. Для оценки воздействия на организм человека используются эквивалентная доза и мощность эквивалентной дозы, измеряемые, соответственно, в Зивертах (Зв) и Зв/ч. В быту можно считать, что  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ Р}$ .

В помещениях жилых зданий в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями мощность эквивалентной дозы облучения не должна превышать мощности дозы, допустимой для открытой местности, более, чем на 0,33 мкЗв/ч (33 мкР/ч). Обычно среднее значение радиационного фона в городах не превосходит 20 мкР/ч [1, 2]. Измерения радиационного фона в Москве дают следующие значения: на улице – 8-12 мкР/ч, в помещении – 15-20 мкР/ч [2].

Рабочим элементом большинства модификаций бытовых дозиметров является полупроводниковый диод. Указанные приборы позволяют измерять мощность экспозиционной дозы гамма- и бета-излучений. Их показания соответствуют мкР/ч. Диапазон измеряемой мощности составляет от 0 до 1000 мкР/ч. Радиоактивное излучение регистрируется в диапазоне энергий 0,006-1,25 МэВ. Время измерений – 20-40 с. Бытовые дозиметры снабжены цифровой индикацией и имеют, как правило, портативное исполнение (рис. 1) [2].

Однако бытовым дозиметром очень трудно обследовать все помещение и добиться уверенности в том, что не пропущен локальный источник радиоактивности. Почти бесполезно пытаться измерять радиоактивность продуктов питания или стройматериалов с помощью

указанного прибора. Дозиметр способен выявить только сильно загрязненные продукты или строительные материалы, содержание радиоактивности в которых в десятки раз превосходит допустимые нормы. Для продуктов и строительных материалов нормируется не мощность дозы, а содержание радионуклидов, а дозиметр не позволяет измерять этот параметр.

Для определения уровня обеспечения радиационной безопасности в помещениях РГУ им. А.Н. Косыгина использовался бытовой дозиметр QUARTEX Model RD 8901 (рис. 1), с помощью которого измерялась мощность экспозиционной дозы радиоактивного излучения на различных этажах корпуса №1 на Малой Калужской ул., д. 1 (г. Москва). Исследования проводились в феврале 2022 г. в течение одного дня. При этом были получены результаты измерений, представленные в табл. 1.



Рисунок 1 – Дозиметр «QUARTEX Model RD 8901», разработанный Международным научно-технологическим парком «Технопарк в Москворечье [2].

Таблица 1 – Результаты измерений мощности экспозиционной дозы гамма- и бета-излучений в помещениях корпуса №1 РГУ им. А.Н. Косыгина (г. Москва, ул. Малая Калужская, д.1)

	1-й этаж						2-й этаж			
Номер измерения, i	1	2	3	4	5	6	7	8		
$X_i$ , мкР/ч	16	12	12	11	11	9	15	10		
	3-й этаж			4-й этаж			5-й этаж			
Номер измерения, i	9	10	11	12	13	14	15	16		
$X_i$ , мкР/ч	14	11	8	19	16	12	14	10		
	6-й этаж			7-й этаж			8-й этаж			
Номер измерения, i	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$X_i$ , мкР/ч	12	10	8	14	11	7	17	13	8	13
Приборная погрешность определения мощности поглощенной дозы 30%										

Источник: измерено авторами

Обработка результатов измерений проводилась статистическими методами при помощи встроенных в табличный процессор Microsoft Excel статистических функций, размещенных во вкладке «Формулы» (раздел «Другие функции», подраздел «Статистические»): СРЗНАЧ (вычисляет среднее значение измеренной величины); СТАНДОТКЛОН.В (вычисляет среднеквадратичную случайную абсолютную ошибку) [3-5]. На рис. 2 представлены результаты соответствующих расчетов.

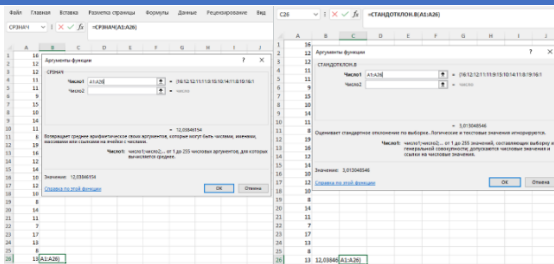


Рисунок 2 – Расчет среднего значения мощности экспозиционной дозы  $\langle x \rangle$  и его среднеквадратичной случайной абсолютной ошибки  $\Delta x$  с помощью статистических функций СРЗНАЧ и СТАНОТКЛОН.В:  $\langle x \rangle = 12,03846$  мкР/ч,  $\Delta x = 3,01305$  мкР/ч. Источник: MS Excel.

С учетом того, что приборная ошибка измерений  $\Delta_{\text{пр}}$ , составляющая 30% от измеренной величины, для среднего значения, равного 12,03846 мкР/ч, оказалась равной  $\Delta_{\text{пр}} = 12,03846 \text{ мкР/ч} \cdot 0,3 = 3,61154 \text{ мкР/ч}$ , полная абсолютная ошибка измерений  $\Delta$ , учитывающая случайные и приборные факторы [2], составила  $\Delta = (\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta x^2)^{1/2} = 4,70337 \text{ мкР/ч}$ .

Таким образом, усредненный результат измерений радиационного фона в обследованных помещениях выглядит следующим образом:

$$x = (\langle x \rangle \pm \Delta) = (12,04 \pm 4,70) \text{ мкР/ч.}$$

Полученные результаты показывают, что в обследованных помещениях радиационная безопасность обеспечена. Места для измерения мощности экспозиционной дозы были выбраны на основе факторов, влияющих на уровень радиационного фона. Наиболее вероятно, что в местах, в которых измеренная величина превысила среднее значение, повышение уровня радиации может быть связано с завышенной концентрацией радона, несанкционированным курением и стройматериалами, в которых осуществляются радиоактивные превращения химических элементов (бетон, кирпич и т.д.).

На основе предложенной методики исследования радиационного фона и соответствующего уровня обеспечения радиационной безопасности целесообразно разработать лабораторную работу для студентов РГУ им. А.Н. Косыгина, изучающих дисциплину «Физика».

#### Список использованных источников:

1. Гвоздкова И.А. Физика окружающей среды. Учебное пособие. – М.: Издательский дом ГУУ, 2016.
2. Гвоздкова И.А. Практикум по учебной дисциплине «Физика». – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО «Государственный университет управления», 2011.
3. Гвоздкова И.А., Горелов В.А. Высшая математика. Учебное пособие. – М.: ИИЦ «АТиСО», 2019.
4. Гвоздкова И.А., Горелов В.А., Гвоздкова Ю.Д. Элементы высшей математики. Учебное пособие. – М.: ИИЦ «АТиСО», 2020.

5. Гвоздкова И.А. Теория вероятностей и математическая статистика (с практикумом) : учебное пособие. – Москва : КНОРУС, 2022.

© Бондарева А.В., Ищенко А.О., Гвоздкова И.А., 2022

УДК 544.6

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТОДНЫХ РЕДОКС-МЕДИАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСОМЕТАЛЛАТОВ В ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ГИБРИДНОГО ТИПА

Вераксо Д.Э., Абунаева Л.З., Антипов А.Е.

*Федеральное государственное бюджетное*

*образовательное учреждение высшего образования*

*«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Москва*

С каждым днем разработки в области энергетики приобретают всё большее значение. Водородно-воздушный топливный элемент (ТЭ) занимает важное место среди существующих химических источников тока (ХИТ). ТЭ представляет собой устройство прямого преобразования энергии химической реакции в электрическую. Принцип работы заключается во взаимодействии в разрядном блоке непрерывно подаваемых извне топлива и окислителя в виде газов. Благодаря протеканию электрохимических реакций в системе возникает электрический ток с выделением тепла, при этом продукты реакций (в случае водородно-воздушных ТЭ – вода) отводятся из разрядного блока. Главным преимуществом водородно-воздушного ТЭ является возможность работы с минимальным воздействием на окружающую среду в сравнении с производством энергии за счёт сжигания горючих ископаемых. Существенным же недостатком данного ТЭ является высокая стоимость, обусловленная использованием дорогостоящих катализаторов для проведения целевой катодной реакции.

В данной работе рассматривается путь решения этой проблемы. Заключается он в следующем: замена катодной части ТЭ на катод с использованием редокс-медиатора позволяет избежать применения дорогостоящих катализаторов. Следовательно, полученный в результате работы гибридный ТЭ будет иметь более низкую стоимость в сравнении с обычным ТЭ.

Существует ряд требований к потенциальному редокс-медиатору. В него входят высокая растворимость, стабильность в широком диапазоне рН, химическая стабильность различных редокс-форм, большая скорость реакции регенерации, а также доступность. Более четкие требования сформулировать сложно, поскольку они зависят от конкретного состава выбранных для исследования соединений.

В качестве редокс-медиатора были рассмотрены полиоксометаллаты (ПОМ), представляющие собой полианионы сложной геометрии,

включающие в себя атомы переходных металлов. ПОМ широко изучены, однако исследований касательно их использования в качестве редокс-медиаторов достаточно мало. В связи с этим конкретные требования при выборе ПОМ не устанавливались. Особое внимание уделяется соединениям со структурой Кеггина и их производным в силу их высокой устойчивости, обусловленной особенностями геометрии, позволяющей защищать гетероатом от внешнего воздействия. Также данные соединения обладают высокой растворимостью (в том числе в органических растворителях), термической стабильностью, большой вариативностью состава, а также особенностью окислительно-восстановительных свойств. Механизм действия ПОМ как редокс-медиатора заключается в способности к электрохимическому восстановлению без значительных перенапряжений на поверхности некаталитических катодов с последующим химическим окислением кислородом в объеме отдельного реактора.

Таким образом, за основу исследования была взята смесь фосфорно-ванадиево-молибденовых гетерополикислот (ФМ-ПОМ). В ходе работы была проведена оценка перспективы использования данного вещества в качестве редокс-медиатора в гибридном водородно-воздушном ТЭ.

Смесь фосфорно-ванадиево-молибденовых гетерополикислот состава  $H_{3+n}PmO_{12-n}VnO_{40}$  со средним значением  $n = 1.8$  была синтезирована в ходе работы согласно патенту [1]. Далее проводилась серия испытаний, позволяющих определить свойства ПОМ данного состава, а также его способность выступать в качестве редокс-медиатора.

Исследование электрохимических свойств полученного ФМ-ПОМ производилось методом циклической вольтамперометрии (ЦВА). Концентрация смеси во всех измерениях составила 1 ммоль/л, диапазон напряжений 0.2-0.8 В, скорости развертки от 25 до 1000 мВ/с. В качестве рабочего электрода использовался стеклоуглерод (диск, диаметр 3 мм), вспомогательный электрод выполнен из платины, электрод сравнения Ag/AgCl (3.5 М KCl). Измерение проводилось в инертной среде в нескольких фоновых электролитах: серной кислоте (0.1 М), ортофосфорной кислоте (0.1 М), универсальной буферной смеси (рН 1.81-4.35).

На рис. 1 представлены полученные при разных скоростях развертки потенциала циклические вольтамперограммы при различных значениях рН. Анализ показал, что электрохимическое поведение ФМ-ПОМ определяется редокс-парой  $V^{4+}/V^{5+}$ . Отмечено также, что редокс-поведение ФМ-ПОМ значительно зависит от величины рН. Увеличение рН приводит к смещению формального потенциала реакции в катодную сторону, что может негативно сказаться на работоспособности редокс-медиатора. Установлено, что при рН 4.35 полностью отсутствуют какие-либо редокс-пики, что может свидетельствовать о потере веществом редокс-свойств.

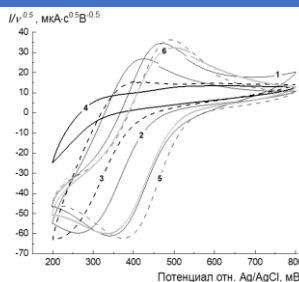


Рисунок 1 – Циклические вольтамперограммы ФМ-ПОМ в универсальной буферной смеси с рН 1.81 (1), рН 2.56 (2), рН 2.39 (3), рН 4.35 (4), 0.1 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (5), 0.1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (6). Скорость развертки 50 мВ/с.

Следующим этапом было испытание ФМ-ПОМ в гибридной разрядной ячейке, сочетающей в своей конструкции принципы ванадиевой проточной редокс-батареи и  $\text{H}_2/\text{O}_2$  топливного элемента. Определено, что удельная разрядная мощность такого элемента достигает 30.3 и 34.9 мВт/см<sup>2</sup> при температуре 25 и 50°C, соответственно. Более высокие показатели во время исследований при температуре 50°C обусловлены уменьшением собственного сопротивления ячейки мембранно-электродного блока (МЭБ), а также снижением вязкости католита, что привело к уменьшению диффузионных потерь. Также получена зависимость величины тока регенерации, характеризующего скорость химической реакции окисления ФМ-ПОМ кислородом, от оценочной средней степени окисления ФМ-ПОМ. Установлено, что максимальный ток регенерации наблюдается для полностью восстановленного ФМ-ПОМ и составляет 0.7 А. Повышение тока регенерации возможно путем оптимизации реактора регенерации, что планируется осуществить в дальнейших исследованиях.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что синтезированный ФМ-ПОМ может использоваться в качестве редокс-медиатора гибридного топливного элемента. Также были определены некоторые критерии, которые стоит учитывать при разработке данного ТЭ, а именно: ограничения по рН и выбор оптимальной степени окисления ФМ-ПОМ, величина которой определяет баланс между током регенерации и величиной разрядного тока.

**Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ (Соглашение № 075-15-2021-458, внутренний номер МД-3844.2021.1.3).**

**Список использованных источников:**

1. Synthesis of polyoxometalates: pat. WO 2015/097459. fil. 19.12.14 ; publ. 02.07.15.

© Вераксо Д.Э., Абунаева Л.З., Антипов А.Е., 2022

## УДК 631.5

### РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА БИОГАЗОРЕАКТОРА

Шарпар Н.М., Телушкин И.С., Власов И.Н.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Основные используемые источники энергии, такие как нефть, природный газ и уголь, однажды безвозвратно будут исчерпаны. Поэтому умы ученых и изобретателей зациклены на поиске альтернативных источников энергии. В этой области многое уже достигнуто и постепенно внедряются в эксплуатацию технологии по реализации и аккумулированию солнечной энергии, развивается ветровая, гидро-, а также атомная энергетика.

Однако, также существует еще один вид энергии, потенциал которого незаслуженно не учитывается – это биоэнергетика. Огромное количество животноводческих комплексов по всему миру ежегодно производит тысячи тонн не переработанного биоматериала – навоз, древесные опилки и солома, предназначенные для прокорма скота. Разрабатываются технологии по переработке и получению из таких отходов качественных биоудобрений, биогаза, а, следовательно, и дальнейшее генерирование полезной энергии для различных нужд.

Создаваемые биогазореакторы (1) представляют собой комплексы из элементов, направленные на цикличное преобразование исходного материала (навоза и сопутствующих отходов) в полезные источники энергии – биогаз и биотопливо (3). В промышленных масштабах схематично такие установки выглядят следующим образом (рис. 1).

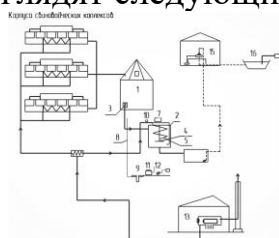


Рисунок 1 – Принципиальная схема биогазовой установки: 1) приемный резервуар; 2) метантенк; 3) насос; 4) турбинная мешалка; 5) змеевик; 7) газгольдер; 8) газопровод; 9) устройство для отвода конденсата; 10) предохранительный клапан; 11) станция очистки биогаза; 12) компрессор; 13) теплогенерирующая установка; 15) сепараторная; 16) емкость для жидкой фракции

Однако, исследовать процессы сбраживания биологических отходов на больших установках с целью изучения и получения научных выводов о получаемых на выходе ресурсах не эффективно из-за невозможности постоянного, локального и точечного мониторинга за протекающими



химическими и физическими изменениями исходного материала. Поэтому целесообразна разработка и создание лабораторного биогазореактора для проведения на нем необходимых исследований и лабораторных работ. Это определяет актуальность, цели и задачи данной работы.

Предлагается создание лабораторного биогазореактора для изучения процесса метанового сбраживания (2) и проведения лабораторных работ. Применение данной установки позволит студентам осваивать учебный материал и проводить на ней лабораторные работы по курсу нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Принципиальная схема лабораторного стенда с биогазореактором выглядит следующим образом (рис. 2).

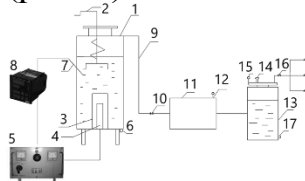


Рисунок 2 – Принципиальная схема лабораторного биогазореактора: 1) биореактор; 2) мешалка; 3) герметичная гильза; 4) нагреватель; 5) выпрямитель-стабилизатор ВСА-5К; 6) сливной штуцер; 7) датчик температуры; 8) измеритель ТРМ-138; 9) трубопровод; 10) обратный клапан; 11) газгольдер; 12) манометр; 13) гидрозатвор; 14) штуцер; 15) манометр; 16) вентиль; 17) сливной штуцер

Основные элементы установки – биореактор 1, представляющий собой цилиндрическую алюминиевую емкость с герметично вмонтированной в крышку биореактора 1 мешалкой 2, предназначенной для перемешивания биомассы. Снизу алюминиевого цилиндра, в полости герметичной гильзы 3, установлен нагреватель 4, подключенный к ВСА-5К 5 (выпрямитель стабилизатор). Стоит отметить, что гильза выполнена из биокоррозионностойкого материала с высокой теплопроводностью. Для слива перебродившей биомассы вмонтирован сливной штуцер 6. Датчик температуры 7 вмонтирован в стенку цилиндра. Зафиксированные показания датчика температуры отображаются на ТРМ-138 8. Чтобы не допустить длительного застаивания биогаза в трубопроводах 9, установлен обратный клапан 10. Из биореактора 1 биогаз по трубопроводам 9 перетекает в газгольдер 11, где происходит его аккумуляция. Сверху в крышку газгольдера установлен манометр 12 для измерения давления. После газгольдера биогаз поступает в гидрозатвор 13 для очистки. Для залива воды в гидрозатвор установлен штуцер 14, а для измерения давления манометр 15. Далее очищенный биогаз через вентиль 16 поступает в дальнейшем в пробоотборник, либо непосредственно к потребителю, а аммиачная вода удаляется через штуцер 17.

Принцип работы лабораторной установки.

1. Биореактор заполняется предварительно измельченной биомассой органических отходов.

2. При помощи ВСА-5К включается нагревательный элемент. Находящийся внутри биореактора воздух и биомасса постепенно нагреваются до температуры, необходимой для начала процесса метанового сбраживания. Для достижения требуемой температуры 35-40°C при помощи ручки регулирования на ВСА-5К устанавливаем нужное значение тока и, при достижении заданных значений температуры, выключаем нагревательный элемент.

3. Чтобы избежать образования твердой корки на поверхности биомассы, внутрь биореактора герметично вмонтирована мешалка, ручка которой выступает над крышкой биореактора. Периодическое перемешивание биомассы позволит избежать появления ненужных твердых частиц.

4. Образовавшийся в биореакторе биогаз по трубопроводам через обратный клапан поступает в газгольдер, где, по мере заполнения, и аккумулируется. Манометр позволяет следить за значениями давления по мере заполнения газгольдера биогазом.

5. При достижении нужного значения давления в газгольдере, открывается вентиль и биогаз поступает в гидрозатвор, в который предварительно через штуцер заливается вода. Данный метод пропускания биогаза через воду позволяет добиться очистки биогаза от сложных аммиачных соединений.

6. Очищенный биогаз через вентиль поступает дальше в пробоотборник, либо непосредственно к потребителю, а загрязненная аммиачная вода сливается через сливной штуцер.

Разработанный лабораторный стенд позволит наглядно и эффективно отслеживать технологический процесс разложения биомассы с последующим выделением биогаза, его аккумулированием, очисткой и дальнейшим использованием, при этом сохраняя надежные эксплуатационные свойства и высокую пожаробезопасность.

#### **Список использованных источников:**

1. Эдер Б. Биогазовые установки [Текст]: практическое пособие /Б. Эдер, Х. Шульц – Издано в 1996г. Перевод с нем. выполнен компанией Zorg Biogas в 2011г. Под научной редакцией И.А. Реддих. – 268 с.

2. Клепикова С. Альтернативная утилизация. [Электронный ресурс] / С. Клепикова // Агротехника и технологии. – 2013. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/15078-alternativnayautilizatsiya/>

3. Василов Р.Г. Биотопливо: биодизель, биоэтанол, биогаз. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 3:

биогаз [Текст] // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3, № 3. – С. 54–61.

4. Гудкова, Е.А. Зарубежный опыт использования возобновляемых источников энергии как основа повышения энергоэффективности российских регионов [Текст] / Е.А. Гудкова, Л.Н. Чернышов // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 84 – 91.

5. Веденев, А.Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике [Текст] / А.Г. Веденев, Т.А. Веденева, ОФ «Флюид». – Бишкек: Типография «Полиграфоформление», 2006. – 90 с.

© Шарпар Н.М., Телушкин И.С., Власов И.Н., 2022

УДК 338.45

## ПРЕИМУЩЕСТВА ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРОТОННОЙ БАТАРЕИ

Гришан У.И., Самосюк Н.А.

*Учреждение образования «Белорусский национальный  
технический университет», Минск, Беларусь*

В настоящее время устойчивое хранение энергии пользуется большим спросом, поэтому мировая энергосистема нуждается в революционном накопителе энергии. Альтернативой массового использования литий-ионных батарей по праву можно считать органические протонные батареи.

Данный вид батареи был разработан командой из Уппсалы и описана в статье «Всеорганическая протонная батарея, заряженная энергией для устойчивого хранения энергии», опубликованной в *Angewandte Chemie*. Исследование предполагает, что «протонные батареи» – перезаряжаемые батареи, которые хранят протоны из воды в пористом углеродном материале – могут внести ценный вклад. Полностью биологическая протонная батарея не только обеспечивает устойчивое хранение энергии, но и предлагает множество других преимуществ по сравнению с обычными батареями:

Протонная батарея сделана из распространенных материалов.

При производстве литий-ионных батарей затрачиваются большие запасы лития, которые сосредоточены всего в нескольких странах, а другие редкоземельные металлы, используемые в литиевых батареях, становятся все более дефицитным и дорогим ресурсом. Дополнительную сложность создает дальнейшая утилизация. Напротив, протонная батарея имеет электрод из углерода, одного из самых распространенных материалов на нашей планете, и заряжается за счет расщепления молекул воды.

«Преимущество в том, что мы собираемся хранить протоны в углеродсодержащем материале, которого в изобилии, и мы получаем протоны из воды, которая легкодоступна», – сказал ведущий исследователь проекта Джон Эндрюс [1].

1. Зарядка за несколько секунд. Аккумулятор можно заряжать при постоянном напряжении, и он достигает полной емкости 60 миллиампер-часов на грамм в течение 100 секунд, что, по словам исследователей, делает его идеальным для интеграции с фотоэлектрической установкой.

2. Нечувствительность к температуре. Ещё одним существенным преимуществом органической протонной батареи является то, что температура окружающей среды не влияет на её работу. По словам Кристиана Штритцеля с факультета материаловедения и технологии Упсальского университета, испытания показали, что ёмкость остается постоянной до  $-24^{\circ}\text{C}$  [1].

3. Перезаряжаемая способность. Органическая протонная батарея может быть подключена к зарядному порту, как и любая другая перезаряжаемая батарея. Процесс выработки энергии представлен на рис. 1.

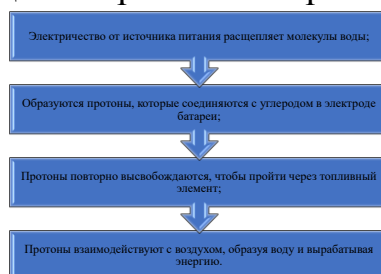


Рисунок 1 – Процесс выработки энергии

Эксперименты уже показали, что крошечная батарея с активной площадью всего 5,5 квадратных сантиметра (0,85 квадратных дюйма) может хранить столько же энергии на единицу, сколько имеющиеся в продаже литий-ионные батареи.

4. Протонная батарея производит нулевые выбросы углерода. Добыча лития и других редкоземельных металлов в традиционных батареях может иметь множество экологических последствий, включая сброс химических веществ в экосистемы и очистку земель от растительности. В дополнение к углеродному следу добычи полезных ископаемых, обработка проводящих материалов требует значительной энергии, которая по-прежнему чаще всего означает электричество, полученное из ископаемого топлива. Между тем, производство углерода и воды, необходимых для этой новой батареи, практически не оказывает воздействия на окружающую среду; в настоящее время основным источником выбросов батареи будет источник электроэнергии, используемый для ее зарядки.

5. Защита от взрывов и пожаров. Для переноса ионов водорода в батарею был использован кислый водный раствор, который в свою очередь не только считается экологичным, но и предотвращает протонную батарею от риска взрыва и возгорания.

Потенциальные области применения протонной батареи включают домашнее хранение электроэнергии от солнечных батарей, как это в настоящее время делает Tesla Powerwall. С некоторыми модификациями и

расширением масштабов технология протонных батарей также может использоваться для хранения электроэнергии среднего масштаба в электрических сетях и для питания электромобилей [2].

Таким образом, разработана работающая перезаряжаемая протонная батарея, основным потенциальным преимуществом которой является гораздо более высокая энергоэффективность, чем у обычных водородных систем, а также отличается своей экологичностью. Разработка является серьезным шагом к возможности производства экологически безопасных органических батарей и внесен весом вклад в энергосистемы всего мира.

#### **Список использованных источников:**

1. Что такое протонная батарея? [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [https://futurism-com.translate.google.com/proton-battery?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://futurism-com.translate.google.com/proton-battery?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc). – Дата доступа: 16.03.2022.

2. Органическая протонная батарея гораздо выносливее литий-ионной [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/organicheskaya\\_protonnaya\\_batareya\\_gorazdo\\_vynoslivee\\_litijionnoj](https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/organicheskaya_protonnaya_batareya_gorazdo_vynoslivee_litijionnoj). – Дата доступа: 16.04.2022 г.

© Гришан У.И., Самосюк Н.А., 2022

**УДК 502/504**

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕФОРМЫ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВА**

Гуторова Н.В., Хмелева О.Ю.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В настоящее время в Российской Федерации остро стоит проблема утилизации твердых коммунальных отходов (далее – ТКО). В этой связи был принят ряд нормативно-правовых актов, направленных на сокращение объема захораниваемых отходов.

Согласно национальному проекту «Экология» и входящему в его состав федеральному проекту «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» [1], к 2024 году доля ТКО направленных на обработку в общем объеме образованных ТКО должна составить 60%, а к 2030 году все образуемые ТКО должны проходить сортировку с целью сокращения полигонного захоронения.

Постановлением Правительства Москвы № 734-ПП от 18 июня 2019 г. «О реализации мероприятий по раздельному сбору (накоплению) твердых

коммунальных отходов в городе Москве» предусмотрено внедрение первого этапа мероприятий по разделному сбору ТКО с 1 января 2020 г. [2]. Предложенная система разделного накопления ТКО является двухпоточной. Каждая площадка сбора отходов во дворах жилых домов и бюджетных учреждений оборудована двумя видами контейнеров. Основной задачей данной системы является отделение органической фракции и загрязненных отходов от отходов, содержащих полезные компоненты (пластик, стекло, бумага, картон, металлы). В дальнейшем и смешанные, и отдельно накопленные ТКО подлежат сортировке, но извлечение полезных компонентов (потенциального вторичного сырья) из отдельно накопленных отходов может составлять более 50%, в то время как из смешанных ТКО – не более 25%.

Еще одним шагом на пути к реализации целевых показателей федерального проекта «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» является Постановление Правительства Москвы № 1813-ПП от 27 октября 2020 г., согласно которому утвержден порядок накопления ТКО (в том числе их разделного накопления) на территории г. Москвы [3].

Следующим важным этапом в реализации программы разделного сбора мусора стал Приказ Департамента жилищно-коммунального хозяйства города Москвы № 01-01-13-105/21 от 13 мая 2021 г., согласно которому был присвоен статус регионального оператора по обращению с ТКО на срок до 31 декабря 2029 г. компании ГУП «Экотехпром» [4]. Единый региональный оператор по разделному накоплению отходов начал работу с 1 января 2022 г. В зону деятельности Регионального оператора входит вся территория г. Москвы. Границы зоны деятельности Регионального оператора также приведены в электронной модели территориальной схемы обращения с отходами г. Москвы [5].

Главной обязанностью Регионального оператора является осуществление полного цикла обращения с отходами во всех округах г. Москва, а также во всех секторах города: жилом, социальном, коммерческом. Подразумевается такие виды работ как сбор, транспортирование, обработка и утилизация, учет собранных и утилизированных отходов, учет выделенного вторсырья, ликвидация несанкционированных свалок и т.д.

В соответствии с действующим законодательством и Соглашением об организации деятельности по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории города Москвы №110-ДЖКХ/21 от 13 мая 2021 г. [6] Региональный оператор вправе привлекать к оказанию услуги по обращению с ТКО другие специализированные организации (далее – Операторы) путем проведения в установленном порядке процедуры

открытого конкурса. По результатам проведенных торгов Операторами были определены следующие организации:

ООО «ЭкоЛайн» – на территории Центрального и Северного административных округов города Москвы (далее – ЦАО и САО);

ООО «МСК-НТ» – на территории Юго-Восточного и Зеленоградского административных округов города Москвы (далее – ЮВАО и ЗЕЛАО);

ООО «Хартия» – на территории Северо-Восточного и Восточного административных округов города Москвы (далее – СВАО и ВАО);

ООО «МКМ-Логистика» – на территории Западного и Юго-Западного административных округов города Москвы (далее – ЗАО и ЮЗАО);

ООО «Группа компаний Современные экологические технологии» (ООО «ГК СЭТ») – на территории Троицкого, Новомосковского и Южного административных округов города Москвы (далее – ТиНАО и ЮАО);

ООО «Спецтранс» – на территории Северо-Западного административного округа города Москвы (далее – СЗАО).

Рассмотрим подробнее процесс обращения с ТКО каждого из указанных Операторов.

Согласно информации, размещенной на официальном сайте компании ООО «ЭкоЛайн» [7], московский оператор по обращению с отходами ООО «ЭкоЛайн» ежегодно собирает и вывозит более 700 тысяч тонн ТКО с территории ЦАО и САО. Отходы поступают на мусоросортировочный завод во Владыкино. Выбранное и отсортированное по видам вторичное сырье (макулатура, ПЭТ-бутылки, стекло и стеклобой, упаковки тетрапак, алюминиевые банки и др.) передаются на предприятия по переработке. Из вторичного сырья производится новая продукция (упаковка, емкости, строительные материалы, одежда и пр.). Не подлежащие переработке отходы размещаются на официальных полигонах.

Раздельно накопленные в ЮВАО и ЗЕЛАО отходы поступают на предприятия обработки ТКО ООО «МСК-НТ». На предприятиях сортировки ООО «МСК-НТ» ежегодно сортируется порядка 680 тысяч тонн ТКО [8]. На объектах производится отбор полезных фракций: пластик, макулатура, стекло, металл. Отобранные после линии сортировки полезные фракции отходов в спрессованном виде хранятся и ожидают отправки на предприятия вторичной переработки. Неотсортированная часть отходов после линии сортировки поступает на станцию перегрузки, откуда большегрузным транспортом отправляется на предприятия обезвреживания отходов.

ООО «Хартия» занимается сбором и вывозом мусора на территории СВАО и ВАО. Согласно информации, представленной на официальном сайте компании «Хартия» [9], собранные отходы попадают на сортировочный комплекс. Здесь разделяют отходы по видам и типам, отделяют вторичное сырье. Отсортированное вторичное сырье

направляется компаниям-переработчикам. Отходы, не подлежащие переработке, размещаются на официальных полигонах ТКО. Строительство первой очереди комплекса по переработке отходов завершилось в апреле 2021 г. Производственные мощности построенного участка позволяют ежегодно обрабатывать 100 килотонн отходов.

ООО «МКМ-Логистика» является официальным оператором по вывозу и утилизации отходов в ЗАО и ЮЗАО. Согласно информации, размещенной на официальном сайте компании «МКМ-Логистика» [10], ежегодный объем вывозимых отходов составляет порядка 676 тысяч тонн. Смешанные и отдельно собранные ТКО сортируют на собственных предприятиях компании «МКМ-Логистика», а также передают на сортировку компаниям-партнерам. в городском округе Егорьевск в Московской области расположено дочернее предприятие компании «МКМ-Логистики» – комплекс «Восток». Данный комплекс по переработке ТКО является крупнейшим в Подмосковье. В состав комплекса входят два автоматизированных мусоросортировочных завода, две станции компостирования пищевых отходов, участок производства RDF-топлива, объект размещения балластной фракции. Из общего потока отбирают: 20% – компонентов вторичного сырья, которые отправляют на переработку, 30% – органические фракции, которые идут на компостирование, до 25% – неперерабатываемый пластик для производства альтернативного топлива [10].

Компания ООО «ГК СЭТ» [11] занимается сбором, транспортировкой и утилизацией твердых коммунальных отходов в ЮАО, а с 2022 года приступила к работе и в ТиНАО. Весь собранный мусор отвозится на сортировочные комплексы, где из него извлекаются полезные фракции, которые идут во вторичную переработку. Остатки передаются на специализированный объект или на мусоросжигательный завод. Согласно информации, размещенной на официальном сайте компании в сети интернет, в планах селективный сбор автомобильных покрышек, которые будут перерабатываться на собственном производстве в экологически чистую плитку для покрытия детских площадок.

В Росприроднадзор об итогах работы в 2021 году компании должны отчитываться до 1 февраля 2022 г. Официальные данные Росстата появятся не ранее апреля 2022 г., поэтому пока приходится опираться на оценочные данные из заявлений официальных лиц и экспертов об успехах проводимой мусорной реформы.

#### **Список использованных источников:**

1. Национальный проект «Экология» [Электронный ресурс], - URL: [https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy\\_proekt\\_ekologiya/](https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/) (дата обращения 22.03.2022)



2. Постановление Правительства Москвы от 18.06.2019 № 734-ПП «О реализации мероприятий по разделному сбору (накоплению) твердых коммунальных отходов в городе Москве»

3. Постановление Правительства Москвы от 27.10.2020 № 1813-ПП «Об утверждении Порядка накопления твердых коммунальных отходов (в том числе их разделного накопления) на территории города Москвы».

4. Распоряжение ДЖКХ г. Москвы от 13.05.2021 № 01-01-13-105/21 «О присвоении статуса регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами»

5. Территориальная схема обращения с отходами города Москвы [Электронный ресурс], - URL: [https://www.mos.ru/upload/documents/files/1430/0\\_ProektTSOO.pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/files/1430/0_ProektTSOO.pdf) (дата обращения 22.03.2022)

6. ГУП «ЭКОТЕХПРОМ» [Электронный ресурс], - URL: [https://ecopro.ru/wp-content/uploads/files/sogl/Soglashenie\\_Regoperator\\_13\\_05\\_2021\\_110.pdf](https://ecopro.ru/wp-content/uploads/files/sogl/Soglashenie_Regoperator_13_05_2021_110.pdf) (дата обращения: 22.03.2022)

7. Вывоз и утилизация ТКО | ЭкоЛайн [Электронный ресурс], - URL: <http://ec-line.ru/> (дата обращения: 22.03.2022)

8. Оператор по вызову мусора г. Москва | Вывоз твердых коммунальных отходов «МСК-НТ» [Электронный ресурс], - URL: <https://www.msk-nt.ru/> (дата обращения 22.03.2022)

9. Региональный оператор по обращению с ТКО в г. Москва «Хартия» [Электронный ресурс], - URL: <https://hartiya.com/> (дата обращения 22.03.2022)

10. «МКМ-Логистика» [Электронный ресурс], - URL: <https://mkmlogistics.ru/> (дата обращения: 22.03.2022)

11. «ГК СЭТ» [Электронный ресурс], - URL: <https://gkset.ru/> (дата обращения 22.03.2022)

© Гуторова Н.В., Хмелева О.Ю., 2022

УДК 675; 628.3

## СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СТОЧНЫХ ВОД ОТМОЧНО-ЗОЛЬНЫХ ЦЕХОВ КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И.  
*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Одной из главных особенностей кожевенного производства является большое потребление воды. Общий сброс сточных вод кожевенных заводов

составляет 2% от общего количества промышленных стоков и достигает 50-60 млн. м<sup>3</sup> в год [1].

Состав сточных вод колеблется по всем показателям и зависит от вида сырья, метода его консервирования, методик проведения технологических операций и используемых химических веществ. Так, при производстве кож используют хлориды, сульфиды, сульфаты, гидроксид кальция, поверхностно активные вещества, продукты распада белков, соединения хрома (III), растительные и синтетические дубители, красители и жировые вещества [2].

Стоки кожевенного производства после отмочно-зольных процессов считаются наиболее загрязненными, так как имеют высокое содержание рН, содержат грязь, кровь, белки, взвешенные вещества, хлориды, гидроксид кальция и сульфиды.

Для оценки состояния производственных стоков используют следующие показатели: химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), содержание взвешенных веществ, содержание хлоридов, сульфидов и гидроксида кальция. Именно на эти стоки приходится до 75% БПК.

Для того, чтобы снизить загрязненность сточных вод после отмочно-зольных процессов, целесообразно перейти на интенсивные и экологически чистые технологии, позволяющие снизить количество применяемых химических реагентов в процессе зольения, а именно сульфида натрия и гидроксида кальция.

Исследования по совершенствованию жидкостных процессов на кафедре Технологии кожи и меха РГУ им. А.Н. Косыгина позволили интенсифицировать обработку кожевенного сырья, повысить качество кожи и обеспечить экологическую безопасность производства, а также сократить затраты на очистку сточных вод [3].

Одной из предпосылок для разработки принципиально новой технологии отмочно-зольных процессов кожевенного производства послужили материалы по использованию электроактивированных растворов в различных отраслях промышленности, позволяющие добиться существенных результатов при минимальном использовании химических реагентов. Электрохимическая активация воды позволяет направленно получать растворы с требуемыми окислительно-восстановительными и кислотно-основными свойствами. Эти растворы можно использовать для обеззараживания воды, обезжиривания биологических объектов, обработки сырья и полуфабрикатов.

Для получения электроактивированных растворов существуют различные установки. На рис. 1 представлена блок-схема установки АКВАХЛОР [4].



Рисунок 1 – Блок-схема установки АКВАХЛОР

В электрохимический реактор установки под давлением подается раствор хлорида натрия. За счет особенностей конструкции элементов осуществляется электродиффузионный отбор ионов натрия и воды через керамическую диафрагму, в результате чего происходит полное разделение раствора хлорида натрия на газообразные продукты, удаляемые из анодной камеры и раствор гидроксида натрия концентрацией 120-150 г/л, образующийся в катодной камере [4]. Полученный электрохимически активированный раствор католит является сильным восстановителем и катализатором восстановления в различных физико-химических и биохимических реакциях, поэтому предлагается использовать католит при проведении отмочно-зольных процессов.

Работа в данном направлении ведется на кафедре «Технология кожи и меха» РГУ им. А.Н. Косыгина в сотрудничестве с институтом В.М. Бахира. Предварительные эксперименты [5, 6] показали возможность использования католита в процессе зольения без использования извести. Разработанная методика представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Методика проведения отмочно-зольных процессов

Процесс	Ж.к.	t, °C	Продолжительность процесса, ч	Расход хим. материалов (% от массы м/с сырья или г/л)	Режим работы
Отмока	1,5-2	20-22	6	Карбонат натрия 1,5 %; ПАВ 0,1%	После загрузки сырья заливается вода и засыпается карбонат натрия. Контроль: обводненность. Отработанную жидкость сливают.
Зольение	2	20-22	6-8	Католит – 40% Na <sub>2</sub> S – 1% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> – 2,5% от массы голя.	На отмоченные и промытые шкуры заливается 160% воды и 40% католита, добавляется 1% Na <sub>2</sub> S. На заключительной стадии зольения вводится пероксид водорода в количестве 2,5 % от массы сырья. Контроль: шкуры после зольения должны быть полностью обезвожены, с достаточным нажимом. В зольной жидкости определяют содержание сульфидов, взвешенных веществ, ХПК, БПК. Отработанную жидкость сливают.

По органолептической оценке, голя, выработанное по предложенной технологии отмочно-зольных процессов, характеризовалось хорошей упругостью, отсутствием подседа и гладкой лицевой поверхностью.

В табл. 2 представлена сравнительная характеристика отработанных растворов после зольения по традиционной технологии [7] и после обработки в растворе католита.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика локальных стоков

Показатели	Технологии	
	Традиционная [6]	С использованием католита
рН, ед	12,5	11,57
ХПК, мг/л	11500	14940
БПК, мг/л	7550	7250
Содержание, мг/л		
взвешенные вещества	11800	18130
сульфиды	6140	-
гидроксид кальция	12500	-

Из результатов, представленных в табл. 2, следует, что основное преимущество разработанной технологии заключается в отсутствии в отработанных растворах гидроксида кальция и сульфидов, что существенным образом скажется на снижении затрат при очистке общих стоков. Отсутствие сульфидов в стоках объясняется, во-первых, их незначительным расходом, а во-вторых, использованием на заключительной стадии зольения пероксида водорода, обеспечивающего их перевод в нейтральные сульфаты.

Отсутствие сульфидов в голье и отработанном растворе позволит более рационально и безопасно перерабатывать побочные продукты в виде мездры, спилка и силковой обрезки.

Таким образом, разрабатываемая на кафедре «Технология кожи и меха» методика позволяет обосновать эффективность обработки кожевенного сырья с применением раствора католита в отмочно-зольных процессах и частично решить проблему загрязнения сточных вод на этой технологической стадии производства.

#### **Список использованных источников:**

1. Муталов, Ш. А. Очистка сточных вод кожевенного производства / Ш. А. Муталов, М. М. Ниязова, Д. Б. Ниязов // *Universum: химия и биология*. – 2019. – № 11-2(65). – С. 21-23.
2. Страхов И. П., Шестакова И. С., Куциди Д. А. и др. *Химия и технология кожи и меха*. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 496 с.
3. Маллашахбанов, Ш. А. Совершенствование технологии подготовительных процессов кожевенного производства с использованием химических материалов целевого назначения: специальность 05.19.05 "Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Маллашахбанов Ш. А. – Москва, 2005. – 24 с.
4. Бахир В.М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения. *Питьевая вода*. 2003; 1: 13-20.
5. Дормидонтова О.В., Евтеева Н.Г., Чурсин В.И. Влияние зольения с использованием католита на упруго-пластические свойства голья *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, посвященной Юбилейному*

году в ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2020. Ч.1. с.184-189.

6. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И. Изменение структуры дермы в растворах католита. Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021 Ч.1,. – с. 178-182.

7. Чурсин В.И. Технологические процессы и экология кожевенного производства // Монография - М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина». 2019. 161 с.

© Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И., 2022

УДК 66.021.3

### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

Загараева А.А.

Научный руководитель Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Повышение эффективности, которое включает интенсификацию, увеличение производительности, снижение энергозатрат, повышение экологической и производственной безопасности, очень важно для процесса экстрагирования целевых компонентов (ЦК) из растительного сырья.

Экстрагирование широко используется как в лабораторных, так и в промышленных условиях для извлечения из растительного сырья биологического материала, разделения смеси белков, в том числе ферментов, жиров, витаминов, гормонов и других биологически активных соединений. Процессы экстрагирования имеют особое значение в современной фармации, особенно для извлечения природных органических соединений из высушенного или свежего растительного сырья.

На сегодняшний день процесс экстрагирования является одним из самых ресурсоемких, данный технологический процесс производства может оказывать существенное негативное влияние на окружающую среду, в том числе сточные воды и на здоровье человека [1].

Использование электрических полей в качестве интенсификатора, позволяют повысить экологическую и производственную безопасность процесса. Повышение безопасности происходит за счет снижения

концентрации ПАВ в растворах, а, следовательно, и сточных водах производства, за счет снижения концентрации вредных веществ в парах в воздухе рабочей зоны предприятия, что позволяет снизить негативное влияние на организм работников [2, 3].

Имеются патенты на устройства для экстрагирования растительного сырья с использованием интенсификатора, которые позволяют снизить энергетические затраты [4, 5].

Предварительная сравнительная характеристика эффективности процесса экстрагирования без интенсификации и с интенсификацией импульсным электрическим полем представлена в табл. 1, показывающей, что интенсификация позволит повысить техносферную безопасность процесса экстрагирования.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика эффективности процесса экстрагирования без интенсификации и с интенсификацией импульсным электрическим полем

Показатель	Без интенсификации	Интенсификация импульсным электрическим полем
Выбросы в сточные воды	Значительные (жёсткая химия)	Существенное уменьшение
Возможность использования безопасного экстрагента	Используются органические экстрагенты	Возможность водной экстракции (стоимость технической воды 8,98 руб./м <sup>3</sup> )
Выход целевого компонента	Выход не высокий при водной экстракции	Повышается выход и качество целевых компонентов, глубина их извлечения при водной экстракции
Расход энергии	Расход энергии высокий	Расход энергии снижается, за счет сокращения на порядок продолжительности процесса (стоимость электроэнергии 5,93 руб./кВт/ч)

Изучены опасные и вредные факторы промышленного процесса экстрагирования, вопросы безопасности использования импульсного электрического поля для интенсификации процесса экстрагирования.

В процессе экстрагирования имеют место такие опасные и вредные факторы как шум и вибрация, источниками которого является оборудование, повышенная и пониженная температура, вредные выделения в рабочей зоне. Экстрагент, например, этиловый спирт, имеет низкую температуру вспышки и относится к токсичным, легковоспламеняющимся жидкостям, его пары вредны для здоровья человека [3]. Опасные и вредные факторы должны регламентироваться нормативно-технической документацией, в частности ГОСТ 12.1.003-83, СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96, ГОСТ 12.1.012-2004, СН 2.2.4/2.1.8.566 – 96, ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.3.002-2014, СП 52.13330.2016.

На основании данных по кинетике процесса экстрагирования, полученных в работах [2, 6], были рассчитаны коэффициенты массопроводности, необходимые для анализа кинетики процесса. Для расчета использовался зональный метод [7].

В работах [6, 8] проведены исследования концентрации биологически активных компонентов, оставшихся в твердой фазе после экстрагирования,

в зависимости от времени воздействия электрического поля при различном значении гидромодуля. Амплитуда импульса напряжения  $U = 25$  кВ, частота 5 имп./с и длительность импульса 0,2 мкс во всех опытах одинаковы [6, 8].

Ниже в табл. 2-4 представлены результаты расчёта коэффициентов массопроводности по данным, приведённым в [6, 8].

Таблица 2 – Расчет коэффициента массопроводности  $k$  зональным методом для экстрагирования ЦК из софоры японской при интенсификации процесса электрическим полем. Гидромодуль 1:13 [6,8]

Номер концентрационной зоны	1	2	3	4
$(\bar{u}_{n,i} - \bar{u}_{k,i}) \cdot 102$ , кг/кг т.ф.	0,057-0,042	0,042-0,027	0,027-0,012	0,012-0,005
$k_i \cdot 10^{-9}$ , м <sup>2</sup> /с	0,645	0,747	1,026	0,403

Таблица 3 – Расчет коэффициента массопроводности  $k$  зональным методом для экстрагирования ЦК из софоры японской при интенсификации процесса электрическим полем. Гидромодуль 1:15 [6, 8]

Номер концентрационной зоны	1	2	3	4
$(\bar{u}_{n,i} - \bar{u}_{k,i}) \cdot 102$ , кг/кг т.ф.	0,058-0,043	0,043-0,028	0,028-0,013	0,013-0,006
$k_i \cdot 10^{-9}$ , м <sup>2</sup> /с	0,582	0,724	0,626	0,426

Таблица 4 – Расчет коэффициента массопроводности  $k$  зональным методом для экстрагирования ЦК из софоры японской без интенсификации процесса электрическим полем. Гидромодуль 1:15 [6, 8]

Номер концентрационной зоны	1	2	3
$(\bar{u}_{n,i} - \bar{u}_{k,i}) \cdot 102$ , кг/кг т.ф.	0,048-0,033	0,033-0,018	0,018-0,005
$k_i \cdot 10^{-10}$ , м <sup>2</sup> /с	0,73	0,76	0,56

Проведен расчёт коэффициентов массопроводности при извлечении ЦК из софоры японской без использования интенсификатора, установлено, что коэффициенты массопроводности меньше на порядок, чем при использовании электрического поля для интенсификации.

Сравнение эффективности процесса экстрагирования без интенсификации и с интенсификацией импульсным электрическим полем показало, что использование технологии интенсифицированной экстракции целевых компонентов из растительного сырья позволяет значительно сократить продолжительность процесса, что соответствует результатам и выводам других авторов.

#### **Список использованных источников:**

1. Загараева, А. А. Повышение эффективности экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья при интенсификации электрическим полем / А. А. Загараева // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021): Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 12–15 апреля 2021 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2021. – С. 64-67.

2. Казуб В.Т. Кинетика и основы аппаратного оформления процессов электроразрядного экстрагирования биологически активных соединений: диссертация ... доктора технич. наук: 05.17.08. - Пятигорск, 2002. - 345 с.

3. Казуб В.Т. Применение импульсного электрического поля для интенсификации процессов экстрагирования / В.Т. Казуб, А.Г. Кошкарлова // Сб. Пути научно-технического и экономического развития в современных условиях: проблемы и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции. Сер. "Научный вестник" - 2015. - С. 334-340.

4. Нужненко Н.С. Установка электроимпульсного экстрагирования. Пат. 105290 Российская Федерация, МПК С11В 1/10, заявитель и патентообладатель ООО КоролевФарм. № 2011105497/13.

5. Шорсткий И.А. Устройство для экстрагирования сырья. Пат. 164195 Российская Федерация, МПК В01D 11/02, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "КубГТУ". № 2015147072/05.

6. Кошкарлова А.Г. Интенсификация процессов экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья импульсным электрическим полем высокой напряженности.: диссертация ... канд. технич. наук: 05.17.08 / Кошкарлова Анна Геннадьевна; - Пятигорск, 2018. - 155 с.

7. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой / Под ред. Плановского А.Н. М.: Химия, 1980. – 248 с.

8. Казуб В.Т. Особенности кинетики процесса экстрагирования под воздействием импульсного поля высокой напряженности / В.Т. Казуб, А.Г. Кошкарлова, С.П. Рудобашта // Вестник ТГТУ. - 2018. Т. 24. - № 1.

© Загараева А.А., 2022

**УДК 504.055**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Исаев М.В.

Научный руководитель Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Одним из распространённых и эффективных методов интенсификации различных технологических процессов, таких как сушка, экстрагирование, полимеризация, процессы переработки нефти, очистка нефтезагрязнённых вод и грунтов и др., является ультразвуковое воздействие (УЗ).



Целью работы является изучение и анализ экологической и производственной безопасности ультразвуковой интенсификации технологических процессов.

Ультразвук и ультразвуковые технологии с точки зрения охраны окружающей среды и рационального природопользования при определенных обстоятельствах и в различных сферах использования могут рассматриваться и как составляющая потоков информации в естественных природных системах, и как потенциальная опасность, связанная с возможностью разрушающих воздействий на живые организмы. Ультразвук может быть нейтральным к природным составляющим экосистем [1, 2].

Источником ультразвука является производственное оборудование, в котором генерируется ультразвук для выполнения технологических процессов, контроля и измерений, и производственное оборудование, при эксплуатации которого ультразвук возникает как сопутствующий фактор, а также медицинское ультразвуковое оборудование [1, 2].

Внедрение ультразвукового способа интенсификации позволяет свести к минимуму сбросы и выбросы в биосферу как материальных, так и энергетических загрязнений [1-4].

Установлено, что ультразвуковые технологии способствуют более полному выделению целевых продуктов, повышению их качества, энергоресурсосбережению при проведении технологических процессов.

Рассмотрим несколько технологических процессов для более точного понимания пользы УЗ воздействия при интенсификации технологических процессов [2-9].

Ультразвуковая сварка. Одним из мест применения УЗ сварки является производство одноразовых медицинских масок. С помощью ультразвука к маске привариваются резинки. Скорость протекания процесса очень высока. Резинки привариваются качественно и надёжно [2].

Резка твёрдых материалов с помощью ультразвуковых колебаний. На острую режущую кромку накладывается ультразвуковое воздействие. Это позволяет снизить усилие процесса резки в 3-4 раза. Без УЗ воздействия материал сминается, тем самым, ухудшается качество материала. А при помощи УЗ, форма материала не меняется, и соответственно качество материала остаётся на высоком уровне [2].

Экстракция. Процесс извлечения вещества из раствора или сухой смеси с помощью растворителя в поле ультразвука позволяет снизить и исключить из реагирующей массы некоторые экстрагенты, которые оказывают вредное воздействие на окружающую среду [2, 10].

Сушка с использованием ультразвукового воздействия. Существуют специальные сушильные установки, в которых создаются УЗ колебания. Одной из особенностей воздействия УЗ колебаний является высокий локальный нагрев тел (волокнистых материалов) при УЗ облучении, что

способствует повышению скорости процесса сушки волокнистых материалов и снижению температуры сушки. Проведены исследования, в ходе которых сравнивалась энергетическая эффективность различных способов сушки тканей. Контактная сушка с ультразвуковым воздействием идёт намного быстрее, чем контактная без УЗ воздействия и бесконтактная без УВ воздействия. Время цикла контактной сушки с УЗ воздействием в 2 раза меньше времени цикла контактной сушки без УЗ воздействия [2, 9].

В результате анализа интенсификации технологического процесса сушки наложением УЗ поля, можно сделать вывод о том, что УЗ воздействие является эффективным (значительно ускоряет процесс сушки) и приводит к снижению затрат материальных и энергетических ресурсов и повышению экологической и производственной безопасности.

У ультразвукового воздействия есть и отрицательные стороны. Существенным недостатком при сушке с применением УЗ поля является возможность снижения механических свойств текстильного материала, что обусловлено быстро следующими друг за другом явлениями сжатия и разряжения среды при распространении ультразвуковых волн, ударным действием пузырьков газа и кавитацией. Решить данную проблему можно путём подбора минимального времени воздействия УЗ на материал. Применить меры, которые будут способствовать подавлению развитых кавитационных явлений. Однако, если предположить, что технологический процесс является экологически чистым, то интенсификация процесса ультразвуком не приводит к ухудшению экологической обстановки и производственной безопасности [1, 2, 9, 10].

Исследование проблем экологической и производственной безопасности, сопутствующих интенсификации технологического процесса, показывает, что мощные ультразвуковые приборы и системы могут быть опасными для здоровья человека [1, 2, 5, 8, 11].

Степень «опасности» ультразвука определяется техническим приложением или качеством проектирования технологического процесса его использования [1, 11].

Биологический эффект воздействия ультразвуковых колебаний на организм человека зависит от интенсивности, длительности воздействия и размеров поверхности тела, подвергаемого действию ультразвука. Длительное систематическое влияние ультразвука, распространяющегося в воздухе, вызывает функциональные нарушения нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов. Воздействие ультразвуковых колебаний на организм работающих может происходить через воздух (воздушное облучение), а также при контакте рук работающего со средами, в которых возбуждены колебания (контактный путь воздействия) [1, 2].

Снижение возможных сопутствующих вредных излучений достигается уменьшением единичной мощности УЗ-приборов и выбором рациональных УЗ-параметров для конкретных технологий [1, 2, 5].

Следует отметить, что ввод в технологический процесс ультразвукового излучения во многих технологиях переработки сырья является фактором, существенно снижающим подвод к технологической операции других энергетических потоков и прежде всего тепловой энергии, что безусловно повышает экологическую безопасность [1, 2, 5-10].

Таким образом, показано, что при обоснованном выборе диапазона технологических параметров, соотнесенных с объектом приложения излучения, вредное влияние ультразвука отсутствует или является минимальным, а интенсифицирующее воздействие является экологически безопасным, если при проектировании его практических приложений выполняются необходимые ограничения по мощности, интенсивности и защите. Этому соответствуют многофункциональные маломощные ультразвуковые генераторы и технологические процессы на их основе с рациональными параметрами ультразвукового воздействия.

#### **Список использованных источников:**

1. Хмелев В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве / Хмелев В.Н., Попова О.В. – Барнаул: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). - 1997. - С. 110-128.

2. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С. [и др.] Ультразвук. Аппараты и технологии – Барнаул, 2015. – С. 231-254.

3. Кошелева М.К., Булеков А.П. Ресурсосберегающий процесс очистки стоков с использованием ультразвука // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020): Сборник материалов Международной научно-технической конференции. 2020. С. 53-55.

4. Сажин Б.С. Формирование научных направлений и отражение научных достижений в области повышения эффективности теплообменных процессов, экологической и производственной безопасности текстильных производств в разделе "Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика" / Сажин Б.С., Федосов С.В., Кошелева М.К. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 4(376). – С. 116-122.

5. Гуньков Н.Д. Использование ультразвуковых аппаратов для интенсификации процессов в системах жидкость-твёрдый материал / Гуньков Н.Д., Кошелева М.К. // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2019) : Сборник материалов Международной научной студенческой конференции, Москва, 16 апреля

2019 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2019. – С. 185-188.

6. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Хмелев М.В. [и др.] Новые ультразвуковые аппараты для реализации технологических процессов // Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы: Материалы международной научной конференции, Витебск, 25–28 мая 2021 года. – Витебск: УО "ВГТУ", 2021. – С. 66-68.

7. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А. [и др.] Исследование процесса ультразвуковой сушки овощей // Пищевые инновации и биотехнологии : Сборник тезисов IX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках III международного симпозиума "Инновации в пищевой биотехнологии", Кемерово, 17–19 мая 2021 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – С. 80-81.

8. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В. [и др.] Ультразвуковые аппараты для интенсификации технологических процессов // Химические волокна. – 2019. – № 4. – С. 45-48.

9. Хмелев В.Н., Кошелева М.К., Доровских Р.С. [и др.] Ультразвуковая сушка текстильных материалов // Химическая технология. – 2018. – Т. 19. – № 4. – С. 178-185.

10. Kosheleva, M. K. Influence of Ultrasonic Field on Kinetic Coefficients in the Process of Extraction / Kosheleva M.K., Rudobashta S.P. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – Vol. 92. – No 5. – P. 1364-1369.

11. ГОСТ 12.1.001-89. Система стандартов безопасности труда. Ультразвук. Общие требования безопасности. – Введ. 1991 – 01.01.

© Исаев М.В., 2022

**УДК 66.021.3**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ**

Калачева Ю.Ю.

Научный руководитель Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

С развитием производственных процессов экстракции совершенствуются и разрабатываются более эффективные методы

обработки лекарственного растительного сырья. Одним из перспективных методов интенсификации процесса экстракции из природного сырья является использование ультразвукового воздействия. На основании результатов многочисленных исследований в области ультразвука можно утверждать, что применение данного метода способствует интенсивному перемешиванию системы твердое-жидкость, ускоряя массообмен. Под действием ультразвуковых колебаний происходит более быстрое и активное разрушение тканей растительного сырья, что приводит к интенсификации процесса экстракции. Эффективность использования ультразвука может быть объяснена воздействием ряда специфических факторов, присущих ультразвуковым колебаниям. Среди них: разрушающее действие на пограничный слой и клеточную структуру, кавитационный эффект, образование микропотоков, влияние на диффузионную проницаемость ткани [1].

Анализ литературных данных [2, 3] показывает, что воздействие ультразвуковых колебаний на различные среды прежде всего обусловлено воздействием ультразвуковой кавитации. Доказано, что при воздействии эффектов кавитации сокращается время обработки и улучшается качество экстрагируемого продукта.

Показано действие акустических колебаний на увеличение межфазной удельной поверхности реагирующих компонентов. Диспергирование при этом идет как за счет разрушения частичек твердой фазы, так и за счет поверхностного трения между твердыми и жидкими фазами. Уменьшается толщина диффузионного пограничного слоя, увеличивая активацию молекул, в результате чего повышается количество результативных соударений молекул реагирующих компонентов [4].

Ультразвуковые колебания, распространяющиеся в жидкофазных средах, приводят к увеличению удельной поверхности взаимодействия и уменьшению величины диффузионного граничного слоя, обеспечивая тем самым многократное ускорение технологических процессов [5].

Введение ультразвукового излучения в технологический процесс во многих технологиях переработки сырья является фактором, значительно снижающим подачу на технологическую операцию других энергетических потоков: тепловой энергии, электроэнергии. Экологическая выгода от этого очевидна [5]. Так же использование ультразвуковой интенсификации позволяет снизить продолжительность технологических процессов, например замачивание [1].

Интенсификация процесса экстракции в ультразвуковом поле помогает уменьшить и даже полностью исключить из реакционной массы количество экстрагентов, которые считаются вредными для окружающей среды [5]. Следовательно, это дает экономическую выгоду, снижает

концентрации вредных веществ в сточных водах, в парах в воздухе рабочей зоны, что позволяет снизить вредное влияние на организм работников.

Таким образом, ультразвуковые технологии с устройствами на базе многофункциональных маломощных генераторов в значительной степени отвечают требованиям утилизации, экономии ресурсов, экологичности и обеспечивают более рациональное использование природных ресурсов по сравнению с традиционными методами экстракции [5].

Для расчётов коэффициентов массопроводности использовались экспериментальные данные, полученные в работе [7] при разных условиях проведения процесса экстрагирования.

Для получения экстрактов в работе [6] использовано свежее и высушенное на инфракрасной установке сырье. В качестве объектов исследования были выбраны продукты переработки многолетних травянистых растений семейств Asteraceae (Compositae): *Arstiumlappa* L. – лопух большой (ЛБ), *Taraxacum officinale* Wigg. – одуванчик лекарственный (ОЛ), *Achillea millefolium* L. – тысячелистник обыкновенный (ТО), а также семейства Rosaceae – *Sanguisorba officinalis* L. (*Sanguisorba glandulosa* Kom.) – кровохлебка лекарственная (КЛ). В качестве экстрагентов использованы вода, водно-этанольная смесь, позволяющие экстрагировать моно-, ди- и полимерные фенольные соединения, углеводы, органические кислоты, их соли и витамины. А также в качестве экстрагентов были использованы диэтиловый эфир, этилацетат, изопропиловый спирт [6]. Варьировались значения гидромодуля, т.е. соотношение между твёрдой и жидкой фазами  $M=1:2$ ;  $1:3$  и  $1:5$  – для свежего сырья и  $M=1:3$ ;  $1:5$  и  $1:7$  – для высушенного сырья [6].

Для повышения эффективности экстрагирования целевых компонентов (ЦК) и увеличения движущей силы этого процесса проводилась предварительная подготовка сырья, включающая измельчение корней в форме стружки толщиной 2-3 мм, длиной 40-60 мм, соцветий и листьев – до размера частиц 3-5 мм. Проводилась тепловая обработка корней. Бланшировали измельченные корни при температуре 60-65°C в течение 3 мин. Измельченные и бланшированные корни и нарезанную надземную часть сырья заливали раствором этилового спирта в экстракторе. Подготовленное сырье экстрагировали в лабораторном экстракторе непрерывного действия в противотоке [6].

В табл. 1, 2 и на рис. 1, 2 приводятся кривые кинетики экстрагирования фенольных соединений (изменение концентрации целевого компонента в твёрдой фазе) по данным работы [6] и результаты расчёта коэффициентов массопроводности, полученные в данной работе [8, 9].

Установлено, что процесс экстрагирования из изученного растительного сырья наиболее эффективно протекает при гидромодулях 1:3 [6].

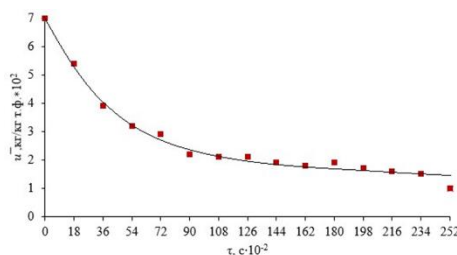


Рисунок 1 – Кинетика экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом при значении гидромодуля  $M=1:3$  [6].

Таблица 1 – Расчет коэффициента массопроводности  $k$  зональным методом для кинетики экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом при значении гидромодуля  $M=1:3$  [6].

Номер концентрационной зоны	1	2	3	4
$(\bar{u}_{ni} - \bar{u}_{ki}) * 10^2$ , кг/кг с.м.	5-4,1	4,1-3,2	3,2-2,3	2,3-1,4
$k_i * 10^{-9}$ , м <sup>2</sup> /с	0,125	0,125	0,064	0,029

На рис. 2 приводится кинетическая кривая экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом с интенсификацией процесса ультразвуковым полем при значении гидромодуля  $M=1:3$  [6].

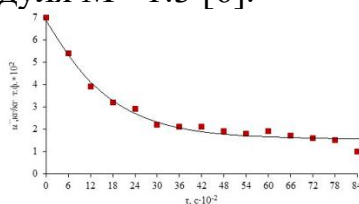


Рисунок 2 – Кинетика экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом с интенсификацией процесса ультразвуковым полем при значении гидромодуля  $M=1:3$ . [6].

В табл. 2 представлены результаты расчета коэффициента массопроводности  $k$  зональным методом для кинетики экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом при значении гидромодуля  $M=1:3$  с интенсификацией процесса ультразвуковым полем [6].

Таблица 2 – Расчет коэффициента массопроводности  $k$  зональным методом для кинетики экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом при значении гидромодуля  $M=1:3$  с интенсификацией процесса ультразвуковым полем [6].

Номер концентрационной зоны	1	2	3	4
$(\bar{u}_{ni} - \bar{u}_{ki}) * 10^2$ , кг/кг с.м.	4,5-3,7	3,7-2,9	2,9-2,1	2,1-1,5
$k_i * 10^{-9}$ , м <sup>2</sup> /с	0,424	0,308	0,245	0,336

На рис. 3 приводятся кривые кинетики экстрагирования фенольных соединений (изменение концентрации целевого компонента в твёрдой фазе) и результаты расчёта коэффициентов массопроводности при воздействии ультразвукового поля и без интенсификации по данным статьи [7].

Из представленного графика видно, что продолжительность процесса экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом с интенсификацией процесса ультразвуковым полем при значении гидромодуля  $M=1:3$  уменьшается в 3 раза [7].

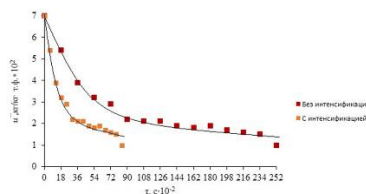


Рисунок 3 – Кинетика экстрагирования ЦК из корней ЛБ этиловым спиртом без интенсификации и с интенсификацией процесса ультразвуковым полем при значении гидромодуля  $M=1:3$ .

По кинетическим кривым зональным методом рассчитаны коэффициенты массопроводности, которые имеют порядок  $10^{-9}$ , что совпадает с данными других авторов [8, 9].

Таким образом, проведен анализ кинетики экстрагирования и расчёт коэффициентов массопроводности при извлечении целевых компонентов из одного из видов растительного сырья, которые при использовании ультразвукового поля в качестве интенсификатора возрастают на порядок в сравнении с процессом без интенсификации. Знание коэффициентов массопроводности имеет существенное практическое значение, поскольку, зная их можно рассчитать кинетику процесса экстрагирования из подобного растительного сырья.

#### Список использованных источников:

1. Потороко И.Ю. Перспективы использования ультразвукового воздействия в технологии экстракционных процессов / И. Ю. Потороко, И. В. Калинина // Вестник Южно-Уральского Государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии. – 2014. – №1. – С. 42-47
2. Аверьянова Е. В. Исследование процесса извлечения БАВ из растительного сырья в условиях ультразвуковой экстракции / Е. В. Аверьянова, В. Н. Хмелев, С. Н. Цыганов [и др]. // 18 Международная конференция – семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам EDM` 2017 – 2017.
3. Думитраш П. Г. Ультразвуковая экстракция биологически активных соединений из семян томатов / П. Г. Думитраш, М. К. Болога, Т. Д. Шемякова // Электронная обработка материалов. – 2016. – №52(3). – С. 47-52
4. Powder // J.Am.Chem.Soc. 1987. -Vol. 109.-P. 3459-3461
5. Хмелев, В.Н. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, С.С. Хмелев, С.Н. Цыганок; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. – 687 с.
6. Струпан Е. А. Технология получения экстрактов из дикорастущего растительного сырья, широко применяемого в пищевой промышленности и



фитотерапии / Е. А. Струпан, В. С. Колодязная, О. А. Струпан // Вестник КрасГАУ. – 2012. – №8. – С. 199-205

7. Горяева Н. А. Исследование процесса экстракции растительного сырья под действием ультразвука / Н. А. Горяева, Е. П. Каменская, М. В. Обрезкова // Проблемы, перспективы биотехнологии и биологических исследований: Материалы VIII Региональной конференции студентов младших курсов, Бийск, 18 ноября 2017 года. – Бийск: ФГБОУ ВПО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ), Бийский технологический институт, 2018. – С. 79-82.

8. Рудобашта, С. П. Определение коэффициентов массоотдачи и массопроводности из кривых кинетики / С. П. Рудобашта, М. К. Кошелева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 6(360). – С. 175-180.

9. Kosheleva, M. K. Influence of Ultrasonic Field on Kinetic Coefficients in the Process of Extraction / M. K. Kosheleva, S. P. Rudobashta // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – Vol. 92. – No 5. – P. 1364-1369. – DOI 10.1007/s10891-019-02052-z.

© Калачева Ю.Ю., 2022

УДК 66.074.2

## АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА МОКРОЙ ОЧИСТКИ ВЫБРОСНЫХ ГАЗОВ

Карев А.Н., Тюрин М.П.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

На протяжении десятилетий промышленные скрубберы обеспечивали эффективную очистку выбросных потоков, производимых на заводах, электростанциях и других промышленных объектах, и современные скрубберы могут удалять загрязняющие вещества более эффективно, чем когда-либо прежде. Используя промышленный скруббер, обладающий необходимыми возможностями, возможно предотвратить попадание вредных загрязняющих веществ в атмосферу.

Мокрые скрубберы остаются одним из популярных типов для проведения процесса мокрого пылеулавливания. Рассмотрим скруббер для очистки выбросных газов от хлора. Схема скруббера насадочного представлена на рис. 1.

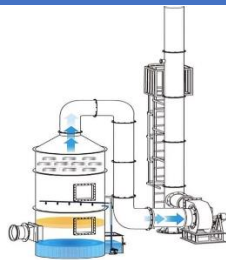


Рисунок 1 – Насадочный скруббер с указанием потока выбросного газа.

Мокрые скрубберы удаляют загрязняющие вещества путем впрыска жидкости в газовый поток через форсунку [1]. Твердые частицы улавливаются каплями воды при попадании в поток отходов. В случае химических скрубберов, впрыскиваемая жидкость химически реагирует с газовым загрязнителем, удаляя его из потока отходов [2].

Газообразный хлор очень токсичен. Мокрые скрубберы хлора могут использовать многоступенчатый подход к удалению в зависимости от начальной загрузки загрязняющих веществ. Некоторая форма щелочного жидкого раствора, такая как кальцинированная сода или каустический раствор, обычно используется в качестве нейтрализующего агента.

Эффективность удаления хлорного загрязнителя контролируется рядом переменных, включая конструкцию скрубберной системы, концентрацию и количество рециркулируемой жидкости, а также условия процесса, такие как температура и расход [7].

Скрубберы Вентури, также известные как скрубберы твердых частиц, представляют собой системы очистки выбросных газов, которые высокоэффективны при удалении твердых частиц (ТЧ) из промышленных газов, образующихся как в периодическом, так и в непрерывном технологическом процессе (рис. 2).

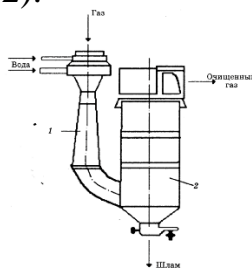


Рисунок 2 – Скруббер Вентури: 1) труба Вентури; 2) корпус

Скрубберы Вентури имеют ряд преимуществ по сравнению с фильтрами и другим пылеулавливающим оборудованием. Одним из преимуществ является то, что они могут обрабатывать насыщенные частицами газовые потоки, которые содержат влагу и/или имеют высокую температуру. Еще одним преимуществом является то, что габаритные размеры оборудования часто меньше [8]

#### Список использованных источников:

1. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков, И. К. Решидов. – М: Химия, 1981. – 392 с.

2. Ужов В.Н. Подготовка промышленных газов к очистке / В.Н. Ужов, Вальдберг А.Ю. – М: Химия, 1975. 216 с.

3. Вальдберг А. Ю. Пути интенсификации процессов сажеулавливания / А. Ю. Вальдберг, М.М. Зайцев, И.И. Урбах. – М: ЦНИТТЭнефтехим, 1970. 50с.

4. Скрубберы [Электронный ресурс]: электронный каталог сайт Siccadania [Электронные данные]. Режим доступа URL: [https://siccadania.com/products/scrubbers?gclid=EAIaIQobChMInduoI POL9gI VC0CRBR3SYw05EAAyAuAAEgJVhPD\\_BwE](https://siccadania.com/products/scrubbers?gclid=EAIaIQobChMInduoI POL9gI VC0CRBR3SYw05EAAyAuAAEgJVhPD_BwE) (дата обращения 18.02.2022)

5. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. - 210 с.

6. Скруббер с подвижной насадкой, принцип работы, особенности и характеристики [Электронный ресурс]: сайт Приволжского завода газоочистительного оборудования [Электронные данные]. Режим доступа URL: <https://gas-cleaning.ru/article/ochistka-vybrosov-abz> (дата обращения 19.02.2022).

7. Мокрый скруббер хлора [Электронный ресурс]: сайт производственного предприятия PollutionSystems [Электронные данные]. Режим доступа URL: <https://www.pollutionsystems.com/chlorine-scrubbers.html> (дата обращения 19.02.2022).

8. Скруббер Вентури [Электронный ресурс]: сайт производственного предприятия PollutionSystems [Электронные данные]. Режим доступа URL: <https://www.pollutionsystems.com/particulate-scrubbers-venturi-scrubbers.html> (дата обращения 19.02.2022)

© Карев А.Н., Тюрин М.П., 2022

## УДК 539.2

### МАТЕРИАЛЫ В СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Карпухина Е.В., Рябова Т.А.

Научный руководитель Ваганова Е.С.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», Ульяновск*

В связи с сокращением запасов ископаемого топлива и экологическими последствиями его использования, а также увеличением выбросов парниковых газов, которые нагрели землю, открытие нового источника возобновляемой, эффективной и биосовместимой энергии является проблемой, с которой сегодня сталкиваются ученые и исследователи. Внимание к альтернативным источникам энергии, таким как солнечная энергия, ветер, вода и приливы, а также к биомассе из топливных элементов и водорода, сегодня вызывает большой интерес в промышленном и научном сообществе.

Солнечная энергия, крупнейший в мире возобновляемый источник энергии. Солнечный свет, который Солнце отражает на планете каждый час, превышает все ресурсы, которые люди способны использовать за год. Поэтому производство этой энергии имеет большое значение. В настоящее время из-за необходимости сбора солнечной энергии в разных странах были разработаны многочисленные формы систем производства солнечной энергии с правильной мощностью для солнечного излучения, так что их электричество передается в национальную сеть [1].

Следует отметить, что солнечную энергию можно использовать двумя способами: использование солнечного света для непосредственного производства энергии, либо с помощью солнечной тепловой энергии на высокотемпературных электростанциях вырабатывать электроэнергию и использовать ее на низкотемпературных электростанциях для обработки горячей воды и вентиляции домов, а также для использования солнечных установок по опреснению воды [2].

Сейчас для получения и хранения энергии солнца используют солнечный элемент, который является полупроводниковым материалом и способный преобразовывать энергию солнечного света непосредственно в электричество за счет своего фотоэлектрического воздействия. Если солнечный свет проходит на полупроводник, электрон перемещается из зоны емкости в зону проводимости полупроводника и генерирует пару электрон-дырка, каждая из которых может участвовать в цикле передачи нагрузки полупроводника и создавать возможные вариации, что пользователь может направить нагрузку на внешнюю цепь.

Существует несколько типов солнечных батарей. Условно их принято делить на «поколения». Так к первому поколению относятся кремниевые солнечные элементы. Технология таких батарей основана на кремниевых пластинах толщиной от 300 до 400 микрон с монокристаллической или мультикристаллической структурой. Используемые силиконовые материалы загрязнены различными элементами, чтобы локализовать достаточное количество электронов-дырок. Такие солнечные элементы состоят из комбинации загрязненных электронами и перфорированных силиконовых слоев, излучающих свет электронного резонатора. Следовательно, электрический ток создается путем перемещения нагрузки во внешнюю цепь. Эти солнечные элементы были коммерциализированы из-за их высокой производительности, но основными недостатками этой группы являются высокая стоимость обработки кремниевого сырья и высокое потребление энергии.

Тонкая пленка солнечных элементов (второе поколение). Как следует из названия, принципы работы этих ячеек сосредоточены на тонких слоях полупроводников, нанесенных на поверхность, например, на стеклянных, металлических или полимерных подложках. В таких солнечных элементах

каждое покрытие отвечает за потребление части длины волны Солнца. Как следствие, скорость поглощения в этой форме солнечных элементов уменьшается, а их передача энергии улучшается.

Сенсибилизированный красителем солнечный элемент (третье поколение). Важнейшими компонентами пигментированного солнечного элемента являются фотоэлектрод, состоящий из чувствительной к пигменту пленки диоксида титана ( $TiO_2$ ). В этих ячейках, когда фотоны входят в сенсибилизированные красителем солнечные элементы, поглощаются пигментом и производят электроны и дырки. Электроны в красителе переходят к наночастице  $TiO_2$ . Наночастицы  $TiO_2$  служат переносчиками этого электрона, и, наконец, электрон попадает на электрод. Электрон, который входит в электрод, передается по проводу к противоположному электроду (восстанавливающий электрод) и используется в цикле восстановления электролита. С другой стороны, полость для пигмента регенерируется растворителем и способна поглотить следующий фотон. Подобным образом, ток также образуется во внешней цепи.

Таким образом, второе поколение батарей, основанных на тонкой пленке, показало свою эффективность и поэтому сейчас часто используемыми материалами в производстве солнечных элементов выступают тонкие слои и поверхности. Как следствие этого наблюдается тенденция к уменьшению размерности слоя материала вплоть до перехода к наноразмерным структурам [2].

По прогнозам ученых именно наноматериалы будут лидерами в ближайшие десять лет наряду с солнечными батареями, сенсибилизированными красителями. Возможно, нанотехнологии смогут помочь решить существующие проблемы эффективности и значительно увеличить производство и хранение солнечной энергии, они будут играть возрастающую роль в проявке тонких пленок, слоев и поверхностей; использовании наночастиц для увеличения рабочей поверхности; использовании нанокристаллических материалов; создании новых материалов [3].

Так иностранными учеными ведутся работы по усовершенствованию конструкции солнечных батарей третьего поколения, работающих на сенсибилизированных красителях. Были проведены исследования по замене  $TiO_2$  и Pt на дефектные углеродные нанотрубки. Дефекты нанотрубкам были нанесены преднамеренно, поскольку «качественные» нанотрубки не обладают прозрачностью и проводимостью. Появление дефектов в структурах трубок добивались воздействием озона. Благодаря дефектам появляются свободные участки в материале, куда могут прикрепиться атомы реагирующих веществ. Таким образом, удалось увеличить производительность и снизить стоимость полученной конструкции [4].

Группа других ученых заменила кремний на углеродные нанотрубки и таким образом получила новый элемент солнечной батареи с повышенным уровнем эффективности перевода солнечной энергии в электрическую.

Таким образом, мировой рынок использования солнечной энергии и методов усовершенствования устройств стремительно растет. Этот очень быстрый рост характерен для стран с развитой экономикой (Япония, Германия, США). Эксперты ожидают, что в течение 2-3-х десятилетий солнечная энергия обеспечит 20-30% общемирового спроса на энергию.

#### **Список использованных источников:**

1. Безруких, П. П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики // Электрика. - 2008. - № 9. - С. 3-10.
2. Беляев, В. С. Солнечные источники энергии для жилых зданий // Жилищное строительство. – 2004. - № 10. - С. 7-10
3. Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения / П.Н. Дьячков. - М.: Бином, 2006. - 293 с.
4. Раков, Э.Г. Нанотрубки и фуллерены: учебное пособие / Э.Г. Раков . - М.: Логос, 2006. - 376 с.
5. Дедух, Д. Г. Достоинства и недостатки энергетики на нетрадиционном сырье // Актуальные проблемы современной науки. – 2004. - № 6. - С. 412-416.

© Карпухина Е.В., Рябова Т.А., 2022

УДК 542.973

### **ФОТОДЕСТРУКЦИЯ ТЕТРАЦИКЛИНА В ПРИСУТСТВИИ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА И ПЕРОКСОДИСУЛЬФАТА**

Коваль К.А., Андриянова Д.В., Иванцова Н.А.

*Федеральное государственное бюджетное*

*образовательное учреждение высшего образования*

*«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Москва*

Антибиотики широко используются в медицине и в качестве добавок к кормам для животных, стимулирующих их рост и контролирующих вспышки заболеваний. В то же время их распространённость приводит к загрязнению окружающей среды. За последние несколько лет антибиотики и их метаболиты были обнаружены в поверхностных, грунтовых и питьевых водах [1], в стоках Китая, Индии, Кении, Японии, США, Мексики, Германии, Вьетнама, Великобритании, Швейцарии, Италии, России, Португалии, Сербии, Южной Кореи и других стран [2].

Антибиотики тетрациклинового ряда, в том числе тетрациклин, окситетрациклин и хлортетрациклин, способны ингибировать синтез

бактериальных белков путём подавления связывания аминоксил-тРНК с 30S субъединицей бактериальной рибосомы, препятствуя таким образом росту и размножению. В свою очередь накопление антибиотиков может способствовать появлению генов устойчивости в бактериальной флоре. Эти невосприимчивые к лекарствам штаммы попадают и в организм человека. Со временем высокая селективность применения антибиотиков может интегрировать наследственную резистентность в геном, что приведёт к глобальной экологической проблеме [3]. Антибиотико-резистентные бактерии на данный момент уже наблюдаются в стоках фармацевтических производств [2], из-за чего очистка сточных вод от тетрациклина является актуальной проблемой.

Традиционные подходы в области обработки воды зачастую неэффективны в случае наличия в ней бионеразлагаемых и трудно разрушаемых органических загрязняющих веществ. Усовершенствованные процессы окисления на основе УФ-излучения являются многообещающими альтернативами классическим методам из-за образования различных высокорекреационноспособных свободных радикалов, традиционно гидроксид-радикалов. Гидроксид-радикалы обычно получают разложением пероксида водорода УФ-излучением. Данный радикал атакует органические соединения посредством переноса электрона, отщепления водорода или реакций электрофильного присоединения. В последнее время сочетание ультрафиолета с пероксодисульфатом ( $S_2O_8^{2-}$ ), основанное на получении сульфат-радикалов, также привлекло широкий интерес в сфере очистки сточных вод из-за простоты хранения и использования реагента, а также за счёт ограниченной стабильности. Сульфат-радикал обладает более высокой окислительной способностью (2,5-3,1 В), чем гидроксид-радикал (1,8-2,8 В), в особенности при повышении значения рН, а также более селективен в реакциях переноса электрона [4], из-за чего существуют сообщения о повышенной эффективности пероксодисульфата в сравнении с пероксидом водорода для разложения азатиоприна [4], сульфаметоксазола [5], сульфаниламидов [6], ацетамиприда [7], но при этом также есть и обратные результаты [8-10]. Таким образом, для деструкции тетрациклина в реальных сточных водах усовершенствованными методами окисления необходимо предварительное сравнение систем УФ/ $H_2O_2$  и УФ/ $S_2O_8^{2-}$ , что и стало целью данной работы.

Исследования проводились в змеевиковом фотореакторе с ртутно-кварцевой лампой низкого давления ДРБ-8. Световая мощность лампы ДРБ-8, соответствующая резонансной линии 254 нм, составляет 2,5 Вт. В установке лампа ДРБ-8 расположена соосно с кварцевым змеевиком, диаметр витка которого составляет 45 мм, а внутренний диаметр кварцевой трубки равен 5 мм. Лампа и змеевик заключены в корпус из нержавеющей стали, снаружи которого размещён перистальтический насос,

обеспечивающий движение облучаемого раствора [11]. Интенсификация УФ-окисления тетрациклина с концентрацией по действующему веществу 500 мг/л проводилась пероксидом водорода (180 мг/л) и надсернонокислым калием (1430 мг/л). Начальная и конечная концентрации определялись спектрофотометрическим методом при длине волны 400 нм, основанным на образовании желтого цвета продукта реакции при взаимодействии тетрациклина с 10% гидроксидом натрия. Результаты фотохимической деструкции представлены на рис. 1.

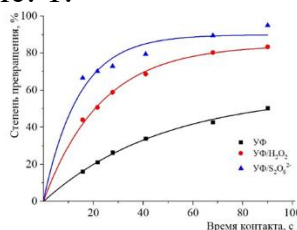


Рисунок 1 – Зависимость степени превращения тетрациклина от времени излучения в системах УФ, УФ/Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> и УФ/ S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>.

Согласно полученным данным системы, содержащие пероксид водорода или пероксодисульфат, обладают повышенной эффективностью для деструкции тетрациклина под действием ультрафиолетового излучения, при этом пероксодисульфат является более предпочтительным источником активных частиц, чем классический пероксид водорода, и может быть применен как более эффективный метод усовершенствованных процессов окисления для данного вида антибиотиков.

#### Список использованных источников:

1. Saadati, F. Influence of parameters on the photocatalytic degradation of tetracycline in wastewater: a review / F. Saadati, N. Keramati, M. M. Ghazi // *Critical reviews in environmental science and technology*. – 2016. – V. 46, №. 8. – pp. 757-782.
2. Соколова, Л. И. Использование природных алюмосиликатов для очистки сточных вод от антибиотиков различных классов / Л. И. Соколова, Д. С. Гальченко, М. Г. Смирнова, Я. Ю. Блиновская // *Гидрометеорология и экология*. – 2021. – №. 62. – С. 113-126.
3. Liao, Q. Interaction between tetracycline and microorganisms during wastewater treatment: A review / Q. Liao, H. Rong, M. Zhao, H. Luo, Z. Chu, R. Wang // *Science of The Total Environment*. – 2021. – №. 757. – pp. 143981.
4. Zhang Y. Kinetic and mechanistic investigation of azathioprine degradation in water by UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/persulfate / Y. Zhang, J. Zhang, Y. Xiao, V. W. Chang, T. T. Lim // *Chemical Engineering Journal*. – 2016. – №. 302. – pp. 526-534.
5. Ao, X. Degradation of sulfamethoxazole by medium pressure UV and oxidants: peroxymonosulfate, persulfate, and hydrogen peroxide / X. Ao, W. Liu // *Chemical Engineering Journal*. – 2017. – №. 313. – pp. 629-637.



6. Zhang, R. Kinetics and modeling of sulfonamide antibiotic degradation in wastewater and human urine by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/PDS / R. Zhang, Y. Yang, C. H. Huang, L. Zhao, P. Sun // Water research. – 2016. – №. 103. – pp. 283-292.

7. Chen, L. Degradation of acetamiprid in UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/persulfate systems: a comparative study / L. Chen, T. Cai, C. Cheng, Z. Xiong, D. Ding // Chemical Engineering Journal. – 2018. – №. 351. – pp. 1137-1146.

8. Ding, X. Hydroxyl and sulfate radical-based oxidation of RhB dye in UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/persulfate systems: Kinetics, mechanisms, and comparison / X. Ding, L. Gutierrez, J. P. Croue, M. Li, L. Wang, Y. Wang // Chemosphere. – 2020. – №. 253. – pp. 126655.

9. Cai, L. Formation of odorous by-products during chlorination of major amino acids in East Taihu Lake: Impacts of UV, UV/PS and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pre-treatments / L. Cai, L. Li, S. Yu, J. Guo, S. Koppers, L. Dong // Water Research. – 2019. – №. 162. – pp. 427-436.

10. Ye, C. Degradation of saccharin by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/PS processes: A comparative study / C. Ye, X. Ma, J. Deng, X. Li, Q. Li, A. M. Dietrich // Chemosphere. – 2022. – №. 288. – pp. 132337.

11. Иванцова, Н. А. Окислительная деструкция фенола в водной среде при совместном воздействии ультрафиолетового излучения и пероксида водорода / Иванцова, Н. А., Паничева, Д. А., Кузнецов, О. Ю. // Химия высоких энергий. – 2020. – Т. 54, №. 1. – С. 13-18.

© Коваль К.А., Андриянова Д.В., Иванцова Н.А., 2022

УДК 536.24

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА  
В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ И ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

Шарпар Н.М., Коверженко М.Д.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В данной работе производится обзор лабораторного стенда (далее ЛС), предназначенного для опытного исследования процессов теплообмена [1, 2]. Благодаря широкому спектру настроек, таких как выбор режима свободной или вынужденной конвекции, выбор любой, из четырех нагревательных секций с разными конфигурациями и их параметрами, на данном стенде можно провести большое количество разнообразных лабораторных работ, что особенно полезно не только для людей обучающихся по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», но и для других направлений, так как в настоящее время, практическое изучение

такого курса, как «Тепломассообмен», затруднено, в связи с малым количеством, как самих стендов, так и условий для их установки. Особенностью данной установки, является совокупность измерительных приборов и быстрый вывод значений, что существенно снижает время проведения эксперимента и позволяет работать только в рамках одного стенда, без подключения дополнительного оборудования, экономя занимаемое пространство и позволяя использовать ЛС большому числу людей.

Главные задачи работы:

проверка общей работоспособности стенда;

уточнение диапазона и режима работы, в котором стенд будет оптимально функционировать;

адаптация стенда, под управление человеком, не имеющим специальных навыков в электротехнике или механике;

последующее создание понятной инструкции для использования ЛС и проведения на нем опытов;

опытный расчет главных параметров процесса «теплообмен», таких как количество теплоты, которое передается посредством конвекции и излучения, и коэффициент теплоотдачи нагревательной секции.

На схеме (рис. 1), выделены: 1 – калорифер, применяемый для опытов с вынужденной конвекцией; 2 – порты, для подключения дополнительных измерительных приборов или датчиков (например, когда требуется снимать отдельные показания с разных секций); 3 – ПИД-регулятор (используется модель ТРМ-138), использующийся для показания данных вольт-амперной характеристики; 4 – блок с автоматами, предназначенный для полного отключения установки и контроля скачков напряжения и короткого замыкания в главной сети; 5 – светодиодные индикаторы, показывающие работу, как всего стенда, так и отдельно включенных секций; 6 – четыре рабочие секции с разными конфигурациями; 7 – регулятор с делителем, контролирующей мощность рабочего участка; 8 – прорезиненная область поверхность стола для более удобной установки дополнительного оборудования.

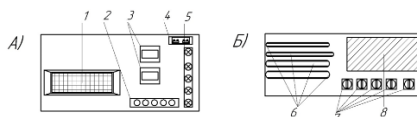


Рисунок 1 – Схема основных элементов управления, приборов с выводом данных и рабочих сегментов: а) вертикальная часть установки; б) горизонтальная часть установки или рабочий стол

В работе представлена примерная схема (рис. 2) рабочей секции [3]. Она является общей, для каждой секции, так как имеет незначительные конструкционные изменения между собой. На рисунке изображены: 1 – металлические трубы с горизонтальными прорезями, выполненные из стали, имеющие общую ось, 2 – металлический стержень из стали,

обернутый в стеклоткань, 3 – нагревательный элемент, выполненный в виде спирали из нихрома, 4 – крышки, выполненные из пластмассы и предназначенные для защиты от высоковольтного напряжения.

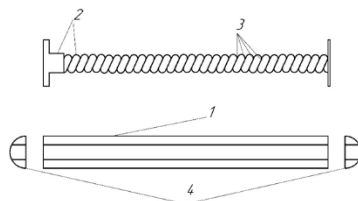


Рисунок 2 – Схема конструкции нагревающейся рабочей секции

Методические указания [3], для безопасного использования лабораторно стенда: установка подключается к обычной бытовой сети, с напряжением 220 В, включается блок автоматов (4) (рис. 1), если сеть исправна, то загорается красным светом самый верхний, первый индикатор (5). Второй автомат в блоке подает напряжение на остальные элементы управления. С помощью делителя, выбирается необходимый сегмент. Изменение напряжения осуществляется вращением реостата (7). Если установка исправна, далее пойдет медленный нагрев и показания ТРМ-138 начнут расти. Следует дождаться установившегося режима (время зависит от выбранной секции), когда значения термо-ЭДС будут оставаться неизменными (допускается колебание в пределах 3%). Далее, если того требует опыт, можно включить калорифер. Прибор уже включен в общую, с установкой сеть и не требует дополнительных настроек, достаточно просто нажать кнопку, расположенную на корпусе аппарата. Можно приступить к снятию показаний.

Далее будет разобрана работа по нахождению зависимости составляющих теплового потока от силы тока – один из многих опытов, которые возможно проводить на данном лабораторном стенде. Особенность данной работы является простота выполнения и ориентированность не только на людей, изучающих дисциплину «Тепломассообмен», но и для студентов по направлению «Электротехника и электроэнергетика», а также обучающихся в школе в старших классах. Рекомендуется использование дополнительного измерительного оборудования (например пирометра), для более точного измерения температуры поверхности секции. В случае, если у прибора отсутствует собственный источник питания, то можно использовать дополнительные порты для подключения (2) (рис. 1).

В начале процесса измеряется температура в помещении  $T_{в}$ . Опыт следует проводить 3...4 раза, с различной мощностью нагревательной секции, во время установившегося режима [3]. В каждом опыте снимаются показания термо-ЭДС, температуры поверхности рабочей секции  $T_{с}$ , напряжения (U) и тока (I). Данные заносятся в таблицу.

$$Q = I * U \quad (1); \quad q = \frac{Q}{F} \quad (2).$$

Далее, используя градуировочную таблицу, значения ЭДС переводятся в значения температуры. Используя вольтамперную характеристику и формулу (1), высчитывается плотность теплового потока ( $Q$ ), которая используется в формуле (2), совместно с площадью рабочей секции  $F$ , для каждого участка данное значение индивидуально. Площадь каждой секции промаркирована на пластмассовых крышках (4), упомянутых в рис. 2 и продублирована в технической документации, идущей в комплекте.

$q_k = q - C_0 * \epsilon * \left[ \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 \right]$  (3), где  $T_c$  и  $T_b$  – температуры секции и воздуха помещения соответственно, полученные ранее,  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела (является константным значением для всех опытов. Рекомендуется использовать значение  $C_0 = 5.67 \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4} \right]$ ),  $\epsilon$  – степень черноты секционной поверхности (уточняется в документации).

Благодаря формуле (3), находится значение конвективной плотности теплового потока ( $q_k$ ), которая будет использоваться для нахождения конвективного коэффициента теплоотдачи ( $\alpha_k$ ) и плотности радиационного потока секции ( $q_p$ ).

$$\alpha_k = \frac{q_k}{\left( \frac{T_c + T_b}{2} \right)} \quad (4), \quad q_p = q - q_k \quad (5).$$

Все данные заносятся в отдельно составленную таблицу. Составляются графики  $q_p = f(I)$ ,  $q_k = f(I)$ , и  $\alpha_k = f(I)$ , для наглядной зависимости составляющих теплового потока от силы тока.

Данная работа успешно показывает легкость и простоту использования рассматриваемого стенда. Простое взаимодействие, без специальных знаний по автоматике, помогает лучше усвоить полученные теоретические знания в лабораторных работах, а также проводить сложные опыты, для углубленного изучения какой-либо из дисциплин. Эргономичные размеры и крупные показатели значений допускают наблюдение за проводимыми действиями целой группы людей, что положительно сказывается на успешном и ускоренном обучении обучающихся.

#### **Список использованных источников:**

1. Корнюхин И.П. Тепломассообмен в теплотехнике текстильных производств: Учебное пособие для вузов. М: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004. – 598 с.
2. Исаченко В.А., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
3. Шарпар Н.М., Жмакин Л.И. Тепломассообмен. Лабораторный практикум: Учебное пособие – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. – 64 с.

© Шарпар Н.М., Коверженко М.Д., 2022

**УДК 681.54:675.92.023**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Куликов Д.С., Полиефтова А.П., Седяров О.И.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Гидравлические процессы, происходящие в каналах с подвижной поверхностью разделения фаз, представляют особый интерес в решении теоретических и прикладных задач техносферной безопасности.

При исследовании гидравлических процессов в лабораторных условиях используют экспериментальные установки различного устройства.

Для получения корректных экспериментальных данных в проектировании лабораторного оборудования используют различные датчики, которые будут отслеживать параметры протекания процесса, позволяя нам обрабатывать результаты эксперимента. Особый интерес современного проектирования представляет автоматизация получения экспериментальных данных и создание модульных конструкций, адаптируемых под нужды конечного потребителя.

Сфера использования гидроканалов очень широка, с их помощью можно решать множество задач: от построения гидроканала в качестве тренажера для пловцов, позволяющих плыть на длинные дистанции против потока в маленьких помещениях, до проектирования лабораторных установок, показывающих, как ведет себя поток жидкости в различных заданных условиях. Техносферная безопасность рассматривает множество вопросов, для решения которых необходимо натурное моделирование процессов, связанных с движением жидкой фазы. Наиболее распространенными из них являются задачи, связанные с набегом волн на береговые сооружения, образованием волн прорыва, изучением динамики водных масс.

Помимо решения прикладных задач, гидравлические лотки или гидроканалы используются в качестве лабораторного оборудования для изучения. Примеры лабораторных работ, которые можно проводить с помощью гидроканалов:

Поток по неподвижному гравийному слою.

Его можно использовать для исследования сопротивления потоку в реках с гравием и польдерным руслом.

Мы можем рассчитать коэффициенты сопротивления потоку, используя такие уравнения, как уравнения Брея, Лимериноса, Хея, Лейси,

Томпсона, Кэмпбелла и Батерста, и сравнить результаты с фактическими значениями, полученными путем наблюдения.

Фиксированный, плавный поток в пласте.

Быстрый сверхкритический поток – преобладание инерционных сил над гравитационными, ударные волны от препятствий потоку.

Турбулентность.

Основные уравнения течения в открытом русле – число Рейнольдса, число Фруда, неразрывность, уравнение Бернулли, уравнения плотины.

Спокойное, докритическое течение – движение поверхностных волн вверх по течению против течения.

В первую очередь проектирование начинается с постановки задачи, которую нужно решить, ведь для решения различных задач требуются и используются разные модификации и модели гидроканалов. Обычно гидроканалы используют для широкого спектра задач, это универсальная установка, которая может вполне легко модифицироваться для разрешения различных проблем.

После того, как была поставлена задача, мы можем приступить к проектированию гидроканала, но сначала нужно разобрать, из каких составных частей он состоит, так как в разработке собственного лабораторного оборудования мы делаем упор на мобильность и модульность нашей установки.

Для примера рассмотрим установку фирмы Edibon под названием CF Flow channel (рис. 1).



Рисунок 1 – Модель гидроканала «CF Flow channel»

Основная часть, сам гидравлический лоток, состоит из модульных лотков, в которых, непосредственно, происходят эксперименты, для наглядности опытов, эти сосуды изготавливают из прозрачных материалов, в данном случае используется оргстекло, оно достаточно прочное и легко поддается деформации на стадии задания формы. Лоткам задаются различные параметры (длина, высота, ширина) в зависимости от задачи, и самая главная особенность модульности состоит в том, что можно соединять лотки различных размеров.

Параметры лотка: Канал прямоугольного сечения с прозрачными стенками, образованный прозрачными секциями из метакрилата.

Доступные версии на выбор:

CF80/2. Проточный канал (сечение: 80 x 300 мм), длина: 2,5 м.

CF80/5. Проточный канал (сечение: 80 x 300 мм), длина: 5 м.

В установке нам потребуются приемный и напорный бак для обеспечения циркуляции воды. В напорный бак напрямую подается вода из технологического бака (рассмотрим его в дальнейшем). В нем вода поддерживается на постоянном уровне и уходит в сам лоток.

Далее, из лотка вода поступает в приемный бак, откуда уходит по шлангу в технологический бак. Параметры напорного и приемного бака устанавливаются исходя из необходимых параметров потока.

В данной установке используется передвижной технический бак объемом 140 литров, соединенный с насосом для более удобного транспортирования и возможности замены бака другого объема.

Главной частью всего этого комплекса является насос, который, в большей степени, задает параметры потока. Важными параметрами насоса для корректной работы установки является напор и расход воды. В большинстве случаев, используют насосы, в которых эти параметры регулируются. Параметры импульсного насоса в CF установке: расход регулируемый 30-80 литров в минуту, напор 20.1-12.8 метров. Также в насосе установлен расходомер, диапазон у которого 600-6000 литров в час, предохранительный выключатель.

Основная часть завершается рамой установки, она позволяет удобно и надежно закрепить все части установки для полноценной и безопасной работы. В данном случае гидроканал собран на опорах с регулируемым наклоном канала для определенных лабораторных работ.

Рама выполнена из анодированного алюминия и панели из окрашенной стали. Основные металлические элементы изготовлены из нержавеющей стали.

Самое важное в лабораторном стенде гидроканала – это датчики, которые используются для, для анализа тех или иных параметров потока. В установках используются самые различные приспособления, начиная от измерителя скорости потока, заканчивая специальными приспособлениями, которые изменяют форму канала.

Уровнемер для измерения высоты воды.

Во многих случаях в гидравлике решающее значение имеет знание глубины разгрузки. Линейка для измерения высоты используется для измерения уровня воды в канале для жидкостей. Аксессуар «CFRM» представляет собой прибор, образованный наконечником зонда, контактирующим с водой, и уровень считывается непосредственно по градуированной шкале. Его длина достаточна для измерения любого уровня воды в канале, а его основные элементы изготовлены из нержавеющей стали. Аксессуар установлен на подвижной опоре, которая может отображаться вверх и вниз по длине и ширине канала для жидкостей.

Трубка Пито с Манометрической доской для трубок.

Трубка Пито – это устройство для измерения общего давления и статического давления в произвольной точке потока. Разница давлений между статическим давлением и общим давлением соответствует динамическому давлению, исходя из которого можно рассчитать скорость потока и расход в любой точке. Аксессуар «CFTP» представляет собой трубку Пито, установленную на подвижной опоре, которую можно перемещать вверх и вниз по длине и ширине канала, подключенную к манометрической плате, на которой измеряются общее и статическое давления.

Измеритель скорости.

Вспомогательное оборудование «CFMV» состоит из измерителя скорости потока. Устройство состоит из колеса с лопастями, которое вращается пропорционально скорости потока, показываемой на дисплее. Аксессуар может перемещаться вверх и вниз по длине и ширине канала для жидкостей.

Цифровой индикатор перепада давления для измерения входного потока. Аксессуар представляет собой цифровой измеритель перепада давления, который измеряет до 2 бар. Он используется с измерителем трубки Пито (FTP) или трубки Вентури для измерения входного потока в канал.

Помимо этого, современное оборудование комплектуется системами автоматизации сбора данных. Например, с лабораторным стендом гидроканала CFGC фирмы edibon в комплекте идет блок управления всей системы, к которой подключены датчики сбора данных. Элементы управления установкой постоянно контролируются компьютером, без необходимости изменений или подключений в течение всего процесса испытаний. Этот блок позволяет удаленно в режиме реального времени корректировать параметры процесса в любой момент.

При проектировании гидравлических установок необходимо, в первую очередь учитывать задачи, которые будут решаться. Из этих задач будут вытекать различные параметры, вспомогательные приспособления, которые будут использоваться в экспериментальных установках для получения корректных результатов. Основу гидроканала составляет непосредственно сам гидравлический лоток и баки, остальное выбирается опционально. Большую роль в проектировании установок играют измерительные приборы и правильная их эксплуатация в виду необходимости иметь опыт и знания их использования. На кафедре ЭТПЭБ мы хотим спроектировать и установить гидроканал, который подходит для решения широкого спектра задач, но прежде всего, главная особенность стенда будет состоять в модульности и автоматизации процесса для удобства и несложной эксплуатации оборудования.



### **Список использованных источников:**

1. Разработка правил физического подобия траловых конструкций при их больших формоизменениях в гидроканале ОАО «МариНПО» - ООО «Фишеринг Сервис» / А. А. Недоступ, А. О. Ражев, Е. Е. Львова [и др.] // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : Материалы IV Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 18 декабря 2020 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2021. – С. 104-109.

2. Прокофьев, В. В. Результаты испытаний судна с различными волновыми движителями в гидроканале / В. В. Прокофьев, А. К. Такмазьян, Е. В. Филатов // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2019. – № 6. – С. 38-47. – DOI 10.1134/S0568528119060082.

3. Официальный сайт поставщика гидроканалов ПНРп-22-123: [edibon.com] URL: <https://www.edibon.com/ru/>

© Куликов Д.С., Полифтова А.П., Седляров О.И., 2022

### **УДК 338.27**

## **МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ РАЗЛИЧИЯ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ INTER-INDUSTRY DIFFERENCES IN ENERGY EFFICIENCY**

Зорина Т.Г., Лю Сюэяо

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

Energy is strategic natural resource and important material basis for sustainable economic and social development. However, the resource constraint and environmental pressure in recent years have aroused widespread concern of the international community. The economic development model of energy overexploitation at the expense of the environment is no longer applicable nowadays. The conflict between resource-environmental pressures and rapid economic development is difficult to be reconciled due to a variety of factors. In China, with the industrialisation, the sector Industry has become the pillar of the national economy. In terms of energy consumption, the sector Industry also accounts for a great share. However, the industries diverse, with each industry having a unique industrial structure and energy consumption characteristics. There are significant differences in energy consumption and energy efficiency between industries. In this context, the study of inter-industry differences in energy consumption and energy efficiency of China will provide valuable guidance in terms of energy conservation, environmental protection and the transition of economic model.

Data envelopment analysis: In this paper, 39 Chinese industries are taken as research object. A DEA model based on constant returns to scale created by Charnesh, Cooper, Rhodes is used to measure the technical efficiency of these 39

industries. And a DEA model based on variable returns to scale created by Banker, Charnes, and Cooper is used to measure the pure technical efficiency. The results should show us the energy efficiency of each industry in China.

It is assumed that there are  $n$  decision-making units, each with the  $m$  types of inputs and the  $s$  types of outputs. The  $i$ th input and  $r$ th output of the DMU $_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) are respectively denoted as  $x_{ij}$  ( $i=1, \dots, m$ ) and  $y_{rj}$  ( $r=1, \dots, s$ ). Both inputs and outputs are positive. Weights  $v_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) and  $u_r$  ( $r=1, \dots, s$ ) are assigned to  $i$  inputs and  $r$  outputs. With the objective function of maximizing the efficiency evaluation index of the  $j_0$ th ( $1 \leq j_0 \leq n$ ) decision making unit and with the constraint that the efficiency evaluation index of all decision-making units is no more than 1, the constructed CCR model is shown as Equation 1.

$$\begin{aligned} \max Z_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \quad (1) \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\ v_i, u_r &\geq 0, \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s \end{aligned}$$

Apply the Charnes-Cooper transform, and transform equation 1 to an equivalent linear programming model as shown in Equation 2.

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} \quad (2) \\ \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m \omega_i x_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m \omega_i x_{ij_0} &= 1 \\ \mu_r, \omega_i &\geq 0, \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s \end{aligned}$$

Transform the linear programming model to a dual model as shown in Equation 3.

$$\begin{aligned} \min STE_{j_0} \quad (3) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq STE_{j_0} x_{ij_0} \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{rj_0} \quad r = 1, \dots, s \\ \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Banker, Charnes, and Cooper add constraints to the CCR model so that the CCR model with constant returns to scale is transformed into the BCC model with variable returns to scale. The BCC model removes the effect of scale efficiency and can be used to calculate the pure technical efficiency as shown in Equation 4.

$$\begin{aligned} \min PTE_{j_0} \quad (4) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq TE_{j_0} x_{ij_0} \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rjo} \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

The indicators involved in the calculations are described below:

(1) Energy input: The total energy consumption by industry is taken as energy input.

(2) Capital input: This paper adopts the annual average balance of net fixed assets by industry as the alternative of capital input.

(3) Labor input: This paper adopts number of employees at year-end by industry to indicate the labor input.

(4) Positive output: The gross output value by industry is used to measure the positive output of each industry.

(5) Negative output: Sulphur dioxide emission and particulate matter emission are selected as the negative output indicators of each industry in this paper. Since the negative output describes a kind of negative social effect, which is an environmental cost, this paper adopts a linear transformation to deal with it. Let  $h_j$  be the negative output before transformation, and use the linear transformation function  $h_j = -h_j + x$  to transform the negative output, where  $x = \max(h_j) + 0.1$ , and  $h_j$  is the negative output after transformation. We substitute  $h_j$  as the positive output into the model.

The above data involved are obtained from 2020 China statistical yearbook, 2020 China energy statistical yearbook, 2020 China industry statistical yearbook, 2020 China statistical yearbook on environment and public data.

Within the sector Industry, there are significant differences among industries that can distinguish themselves. In this paper, industries are classified into resource-intensive, labor-intensive, and capital-intensive three types of industries, according to the intensity of production factors. Resource-intensive industries refer to those industries that invest a lot of resources and whose resources have a great influence on production and operation activities. Labor-intensive industry refers to the industries with a large labor input and the labor input exert a great influence on production and operation activities. Capital-intensive industry refers to the industries that invest a lot of capital, and the capital has a great influence on the production and operation activities. Based on the references and their definitions, the 39 industries selected for this study are classified. Based on the data about 39 industries in China in 2019, the software DEAP2.1 is applied to measure the energy efficiency of various industries considering according to the CCR model with constant returns to scale as shown in Equation 3 and the BCC model with variable returns to scale as shown in Equation 4. And the impact of environment is also considered in the analysis. The

technical efficiency, pure technical efficiency, scale efficiency and returns to scale of energy in each industry are obtained. The specific results are listed in the tab.1.

Table 1 – The results of data envelopment analysis

		Technical Efficiency	Pure Technical Efficiency	Scale Efficiency	Returns to Scale
	MEAN	0.728	0.889	0.826	
Resource-intensive	Mining and Washing of Coal	0.394	0.708	0.556	-
	Extraction of Petroleum and Natural Gas	0.403	1	0.403	-
	Processing of Food from Agricultural Products	1	1	1	
	Manufacture of Foods	0.568	0.57	0.997	-
	Manufacture of Liquor, Beverages and Refined Tea	0.621	0.652	0.953	-
	Manufacture of Tobacco	1	1	1	
	Processing of Timber, Manufacture of Wood, Bamboo, Rattan, Palm, and Straw Products	1	1	1	
	Production and Supply of Electric Power and Heat Power	0.394	0.921	0.428	-
	Production and Supply of Gas	0.491	0.865	0.568	-
	Production and Supply of Water	0.333	1	0.333	-
	Mean	0.620	0.872	0.724	
Labor-intensive	Mining and Processing of Ferrous Metal Ores	0.975	0.981	0.994	-
	Mining and Processing of Non-Ferrous Metal Ores	0.775	0.891	0.869	-
	Mining and Processing of Nonmetal Ores	0.974	0.974	1	
	Manufacture of Textile	0.733	0.986	0.744	-
	Manufacture of Textile, Wearing Apparel and Accessories	1	1	1	
	Manufacture of Leather, Fur, Feather and Related Products and Footwear	1	1	1	
	Manufacture of Furniture	0.766	0.768	0.997	-
	Manufacture of Paper and Paper Products	0.501	0.501	1	
	Printing and Reproduction of Recording Media	0.55	1	0.55	-
	Manufacture of Rubber and Plastics Products	0.548	0.63	0.87	-
	Manufacture of Non-metallic Mineral Products	0.466	0.466	0.999	
Manufacture of Metal Products	0.588	0.678	0.867	-	
Mean	0.740	0.823	0.908		
Capital-intensive	Professional and Support Activities for Mining	0.738	0.832	0.887	-
	Manufacture of Articles for Culture, Education, Arts and Crafts, Sport and Entertainment Activities	0.889	0.899	0.988	-
	Processing of Petroleum, Coal and Other Fuels	1	1	1	
	Manufacture of Raw Chemical Materials and Chemical Products	0.593	1	0.593	-
	Manufacture of Medicines	0.464	0.702	0.661	-
	Manufacture of Chemical Fibers	0.622	0.966	0.644	-
	Smelting and Pressing of Ferrous Metals	0.757	1	0.757	-
	Smelting and Pressing of Non-ferrous Metals	0.673	0.677	0.994	-
	Manufacture of General Purposes Machinery	0.714	1	0.714	-
	Manufacture of Special Purpose Machinery	0.778	0.992	0.784	-
	Manufacture of Automobiles	0.634	1	0.634	-
	Manufacture of Railway, Ship, Aerospace and Other Transport Equipment	0.829	1	0.829	-
	Manufacture of Electrical Machinery and Apparatus	0.927	1	0.927	-
	Manufacture of Computers, Communication and Other Electronic Equipment	0.678	1	0.678	-
	Manufacture of Measuring Instruments and Machinery	1	1	1	
	Utilization of Waste Resources	1	1	1	
	Repair Service of Metal Products, Machinery and Equipment	1	1	1	
Mean	0.782	0.945	0.829		

According to the table, the mean of technical efficiency, pure technical efficiency, and scale efficiency for the whole sector Industry are 0.728, 0.889, and 0.826. The energy utilization in the sector Industry is relatively inefficient and has potential for improvement. And there are differences in the energy efficiency by industry. The energy efficiency of certain industries has been in an optimal level, while that of other industries still need to be improved. The 27 industries of 39 industries studied in this paper are in a state of diminishing returns to scale, indicating that most industries will meet a decrease in their output growth rate by

expanding the input under existing conditions. The extensive mode of economic growth existing in China would lead to a severe waste of energy. According to the data of 2019, there are no industries with incremental returns to scale. It means that in the sector Industry, all industries have difficulty in elevating the output growth rate by expanding inputs.

From the perspective of factor intensity, resource-intensive industries have the lowest technical efficiency compared to the other two types of industries. The possible reason is that it has a significantly lower scale efficiency. The product of pure technical efficiency and scale efficiency is technical efficiency. As for the current circumstance of China, most of the large state-owned enterprise belong to the resource-intensive category. They have a high market concentration. Due to the large scale and complex operation, the institutional arrangements and internal management of these industries all have an impact on their energy efficiency. In order to improve the technical efficiency of such industries, the management and operation structure within the industry needs to be adjusted and optimized. For labor-intensive industries, it has the highest scale efficiency and its scale efficiency is close to the optimal level. Therefore, additional labor input does not effectively improve the technical efficiency in these industries. The improvement of technical efficiency in the labor-intensive industries can only rely on the improvement of their pure technical efficiency. For this type of industries, the capital should be invested more in advanced technology and equipment. The energy efficiency would be enhanced by the improvement of pure technical efficiency. Capital-intensive industries have the highest technical efficiency and the highest pure technical efficiency. These industries possess the highest technological level of energy utilization. We should pay more attention to the scale efficiency if we intend to enhance the technical efficiency of capital-intensive industries. The operation and management would be the key to increase technical efficiency and finally lead to an improvement of energy efficiency.

#### **References:**

1. Zhang X., Wang G. S., Wang Y. W. Spatial-temporal differences of provincial eco-efficiency in China based on matrix-type network DEA. *Economic Geography*. 2014, pp. 153-160.
2. Zhou S. J., Liao F. F., Li D. Y. Research on Energy Efficiency of Chinese Industry Consider Industrial Heterogeneity. *Forward Position or Economics*. 2017, pp. 31-42
3. Zhou C. Y., Yang H. Q. Industry difference of Chinese energy consumption efficiency and energy conservation potential. *Journal of Shanxi Finance and Economics University*. 2013, pp. 84-93.
4. Markangya A., Galinato S. P., Streimikiene D. Energy intensity in transition economies: is there convergence towards the EU average. *Energy Economics*. 2006, pp. 121-145.

© Зорина Т.Г., Лю Сюэяо, 2022

УДК 62-512

## ПОДГОТОВКА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Мелихов И.В., Антропов Д.В.

Научный руководитель Седунин В.А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург*

Характеристиками центробежного нагнетателя (ЦБН) называют графические зависимости степени сжатия, внутреннего КПД и потребляемой мощности от объёмного  $Q$  или приведенного к определенным параметрам расхода, получаемые опытным или расчетным путем. Характеристики ЦБН позволяют судить об отдаленности рабочей точки от границы устойчивости, обо всей возможной области рабочих режимов, о положении рабочих точек по отношению к зоне максимальных КПД [1-4].

Изменяя подводимую мощность, обычно снимают характеристику вдоль линии постоянных оборотов, называемых изодромами, от положения максимального открытия дросселя до точки, когда давление за ЦБН перестает расти.

В современной инженерной практике все чаще находят применение методы вычислительной газовой динамики для анализа условий работы ЦБН, что способствует значительной экономии времени и средств [5-6].

Для выполнения данной задачи мы используем полученную в первой части работы геометрию. Снимаем координаты профиля рабочих лопаток и верхней и нижней границы рабочих каналов. Таким образом, мы получаем электронную модель проточной части.

Результат трехмерного моделирования ступени представлен на рис. 1.

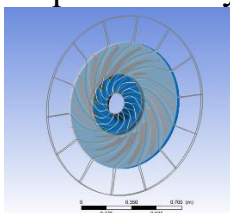


Рисунок 1 – Общий вид рабочего колеса и диффузора в ANSYS CFX

Строим сетку конечных элементов модели с помощью инструмента TurboGrid. С помощью ExportPoint в TurboGrیده уже выбраны ограничивающие размеры hub, shroud, также перенесен blade, остается выбрать в Machine type: Centrifugal compressor. Сетка конечных элементов показана на рис. 2.



Рисунок 2 – Общий вид рабочего колеса и диффузора, разбитый на сетку конечных элементов

Граничные условия задаём в модуле CFX, во вкладке Setup, ими служат основные данные о рабочем теле (полное давление и полная температура перед ступенью и массовый расход на выходе из диффузора). Проверяем правильность выбора программой вращающегося и неподвижного венца, а также направление вращения, задаём переход рабочего тела из рабочего колеса в диффузор.

Так же задаем рабочее тело – метан, т.к. он является основным компонентом природного газа.

В программный пакет CFX, первоначально заносится рабочее колесо, затем лопаточный диффузор. В Pre-CFX мы с помощью функции TurboMode задаем данные скоростей вращения рабочего колеса, температурой, давлением на входе и на выходе. Выбирается материал газа, нагнетаемого данным центробежным нагнетателем. ЦБН прокачивает природный газ

Моделирование процесса выполнено методом последовательных приближений с помощью CFX, во вкладке Solver. Расчёт останавливается при достижении заранее заданной величины невязок рассчитываемых параметров.

После проведения расчета на номинальный режим работы нагнетателя, постепенно изменяем расход при неизменной частоте вращения. После увеличиваем, а затем уменьшаем частоту вращения, и на каждой из них также изменяем расход. Всего исследуется три изодромы, с частотами вращения 5900 об/мин, 6490 об/мин, 5310 об/мин.

По окончании расчета, мы выполнили анализ полученных результатов с помощью CFX, во вкладке Results.

Пункты меню «Turbo macros» позволяет нам получить необходимые значения давления на выходе из диффузора, КПД и мощности, для дальнейшего построения характеристик ЦБН. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

	Частота, Гц											
	5310				5900				6490			
	N, кВт	ηпол	πк	G, кг/с	N, кВт	ηпол	πк	G, кг/с	N, кВт	ηпол	πк	G, кг/с
1	11,32	0,81	1,06	522	15,11	0,81	1,06	572	16,93	0,82	1,06	613
2	13,53	0,84	1,14	48	15,92	0,84	1,14	534	17,21	0,85	1,14	534
3	12,54	0,88	1,18	443	14,64	0,88	1,18	486	16,84	0,90	1,18	486
4	11,30	0,83	1,16	385	13,97	0,89	1,22	423	16,27	0,91	1,22	423
5	10,29	0,82	1,21	310	11,56	0,82	1,28	344	15,00	0,83	1,28	344

Характеристики ЦБН представлены на рис. 3-5.

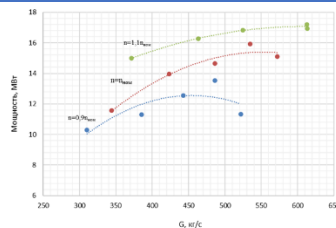


Рисунок 3 – Характеристика ЦБН по мощности

При анализе графика можно сделать вывод о том, что при увеличении частоты вращения увеличивается и мощность. Из-за наличия различных потерь данная зависимость имеет вид изогнутой выпуклой кверху наклонной кривой. Стоит заметить, что ни одно значение постоянной мощности не пересекает несколько линий зависимости  $N_{рн}(G)$ , из этого следует, что для каждого режима соответствуют только свои значения мощностей.

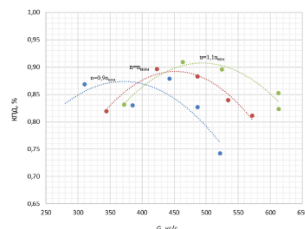


Рисунок 4 – Характеристика ЦБН по КПД

Спроектированный нагнетатель имеет крутые зависимости, это является отрицательным фактором, т.к. принципиально нагнетатели проектируют с пологой зависимостью для минимального разбега по значениям КПД при различных режимах работы.

При построении всех графиков зависимостей можем приступить к построению универсальной характеристики центробежного нагнетателя (рис. 5).

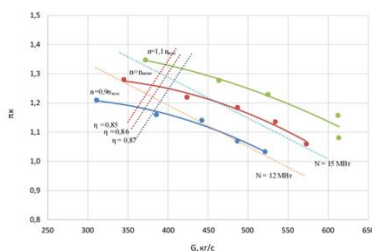


Рисунок 5 – Общая характеристика ЦБН

С универсальной характеристики с помощью вычислений можно определить рабочую точку и оценить потребляемую мощность. Универсальные характеристики справедливы для любого рабочего тела.

Спроектирована ступень центробежного нагнетателя природного газа. В работе пройдены основные этапы проектирования, такие как определение основных конструктивных размеров, расчет кинематических параметров рабочего колеса и диффузора, проверка прочности рабочего колеса, моделирование течения газа в проточной части ЦБН, построение характеристик ЦБН. Построена характеристика ЦБН используя методы



компьютерного моделирования. Построены графики зависимостей  $\eta(G)$ ,  $\eta(G)$  и  $N(G)$ . Построена универсальная характеристика для центробежной ступени нагнетателя. С универсальной характеристики с помощью вычислений можно определить рабочую точку и оценить потребляемую мощность. Универсальные характеристики справедливы для любого рабочего тела.

**Список использованных источников:**

1. Ревзин Б.С. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом: учебное пособие/ Б.С. Ревзин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 269 с.

2. Галаев С.А. Численное моделирование течения вязкого газа в решетках осевых турбомашин: методика и результаты применения современных программных средств. Дис. ... канд. техн. наук. СПб., СПбГПУ, 2006.

3. Крутиков М.В., Блинов В.Л. Моделирование процесса сжатия газа в проточной части центробежного нагнетателя с регулируемым входным направляющим аппаратом. МАиП ПСиМ. Мат. Междунар. науч.-практ. конф., 2018, № 1, с. 117–120. DOI: <https://doi.org/10.26160/2587-7577-2019-2-117-120>

5. Зубков И.С., Блинов В.Л. Анализ путей повышения эффективности работы центробежного нагнетателя с использованием численного моделирования. Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Даниловские чтения. Екатеринбург, УрФУ, 2018, с. 207–210.

6. Шаманин С.Ю., Блинов В.Л. Моделирование процесса сжатия технологического газа в центробежном компрессоре Н-400-21-1С. Актуальные проблемы развития технических наук. Екатеринбург, УрФУ, 2018, с. 139–143.

7. Бондаренко Г.А., Довженко В.Н., Еременко Е.Н. Регулирование режима работы центробежных компрессорных установок. М., ЦИНТИхимнефтемаш, 1982.

© Мелихов И.В., Антропов Д.В., 2022

**УДК 536.242**

**ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СОЗДАНЫХ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Нгимби И.Г., Полиефтова А.П., Седяров О.И.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Существует большое разнообразие видов теплообменных аппаратов, отличающихся по конструкции и по размерам. Теплообменные аппараты

(теплообменники) встречаются во всех видах промышленности. В нефтяной промышленности применяются для охлаждения и нагревания нефтепродуктов, в пищевой – охлаждение и пастеризация различных жидкостей, в других отраслях промышленности теплообменники используют для поддержания оптимальных температурных показателей. В различных отраслях промышленности используют следующие виды теплообменных аппаратов: кожухотрубчатые, типа «труба в трубе», пластинчатые.

Однако, в сегодняшних экономических и экологических реалиях, где с каждым днем возрастает цена на энергоносители, и с увеличением потребления ухудшается экологическая обстановка возникает требование на более рациональное расходование ресурсов. В связи с этим интенсификация технологических процессов, в частности, процесса теплообмена является актуальным. В теплообменниках бывают разные типы теплопередающих поверхностей. Гладкие трубы – часто встречающаяся конструкция, где один теплоноситель течет внутри прямых или искривленных труб круглого поперечного сечения, второй омывает трубы снаружи. Поверхность раздела теплоносителей – стенка трубы. Оребренные трубы – в случае если теплопередача внутри трубы интенсивнее чем снаружи, то увеличивают внешнюю поверхность трубы с помощью ребер. Ребра могут иметь форму кольцевых дисков, спиральных пластин, или плоских листов, находящихся вдоль оси трубы. И наоборот при менее интенсивной теплопередаче внутри труб оребрение проводят с внутренней стороны труб. Матричные конструкции – блоки труб и ребер, выполнены как единое целое. Можно встретить в радиаторах автомобилей и кондиционерах.

Аддитивные технологии – это совокупность технологий послойного приращивания и синтеза различных объектов. Разновидности способов производства с помощью аддитивных технологий: селективное лазерное плавление (СЛП), лазерная стереолитография, Прямое лазерное спекание, электронно-лучевая плавка, компьютерная осевая литография.

Данный способ производства различных деталей позволяет получать самые сложные формы для промышленных изделий, которые раньше были невозможны до возникновения аддитивных технологий. Усложнение формы труб теплообменника или его пластин в случае пластинчатого теплообменника интенсифицируют процесс теплообмена (наряду с другими способами: увеличение разности температур, использование вибрации и ультразвука, наложение пульсации давления). Как было отмечено выше аддитивные технологии могут позволить нам получить сложное оребрение и добавить механические турбулизирующие вставки поверхности, на которой происходит контакт теплоносителей и теплообмен. Аддитивные технологии также позволяют получать персонализированные эффективные

теплообменники, в виду возможности простого способа контроля и усовершенствования модели теплообменника в САПР. Также программы вычислительной гидро-газодинамики позволяют проверить технические характеристики теплообменники численным способом, что тоже упрощает производство.

Новый метод производства требует наличия и нового вида сырья, из которого можно изготовить продукцию. Большинство аддитивных методов производства используют в качестве сырья металлические порошки, другие используют специальные полимерные материалы, или смеси. Метод прямого лазерного спекания использует различные металлические порошки: Ti-6Al-4V, AlSi10Mg, нержавеющая сталь, сплавы на основе никеля и сплавы кобальта-хрома. При селективном лазерном плавлении так же используют металлические сплавы титана, железа, алюминия, никеля, однако стоит заметить, что при селективном лазерном плавлении могут использовать композитные материалы. Обработка композиционных материалов СЛП включает плавление смеси двух или более типов порошков, причем один из порошков действует как матричный материал, а другой – как армирующая частица.

Теплообменники могут производиться по аддитивным технологиям как из полимерных материалов так из металлов. Благодаря возможности получать наиболее подходящую геометрию для теплообмена, теплообменные аппараты получаются компактнее легче и более производительными. Для производства теплообменников применяю технологию прямого лазерного спекания. Аппараты, полученные по данной технологии, показали прирост в теплопередаче 15-50% по сравнению с современными теплообменными аппаратами с волнистыми ребрами. Так же теплообменники могут получать путем селективного лазерного плавления. Процессы СЛП и прямого лазерного спекания не сильно отличаются друг от друга. В обоих методах используют металлические порошки, однако при СЛП порошок с помощью лазера достигает температуры плавления, что позволяет получить более высокое качество поверхности детали. Область, в которой аддитивное производство может принести пользу – это высокотемпературные теплообменники, как правило они дороги, поскольку в них используются высококачественные и дорогостоящие материалы. Аддитивное производство этих теплообменников со сложной геометрией может помочь улучшить соотношение площади поверхности к объему и обеспечить лучшее распределение потока, в результате чего получается компактный и эффективный теплообменник. К сожалению, на сегодняшний день уровень развития аддитивных технологий не позволяет говорить о доступности создания теплообменников в промышленных масштабах, и в больших размерах. Все рассмотренные примеры созданных теплообменников имеют небольшой размер.

**Список использованных источников:**

1. Andrés Díaz Lantada A. de Blas Romero, M. Schwentenwein, C. Jellinek, J. Homa Lithography-based ceramic manufacture (LCM) of auxetic structures: present capabilities and challenges [Текст] // Smart Materials and Structures. - 2016 г.. - Т. 25.
2. E. Greiciunas D. Borman, J. Summers, Steve J. Smith Experimental and numerical study of the additive layer manufactured inter-layer channel heat exchanger [Текст] // Applied Thermal Engineering. - 2021 г.. - Т. 188.
3. ENCE GmbH Теплообменные аппараты и оборудование [Электронный ресурс]. - 03 15, 2022. - [https://gas-burners.ru/teploobmennoe-oborudovanie/teploobmennye-apparaty-i-borudovanie/#heat\\_exchangers\\_types](https://gas-burners.ru/teploobmennoe-oborudovanie/teploobmennye-apparaty-i-borudovanie/#heat_exchangers_types).
4. Essop A. GE research \$2.5 m project attains 3d printed ultra-performance heat exchanger [Электронный ресурс] // 3D Printing Industry. - 16 Апрель 2019 г.. - 16 Март 2022 г.. - <https://3dprintingindustry.com/news/ge-research-2-5-m-project-attains-3d-printed-ultra-performance-heat-exchanger-153627/>.
5. J. Delgado J. Ciurana, Ciro A. Rodríguez Influence of process parameters on part quality and mechanical properties for DMLS and SLM with iron-based materials [Текст] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - Springer : [б.н.], 2011 г..
6. Konečná R. Nicoletto G. , Ваца А., Kun L. Microstructure, defects and fractography of Ti6Al4V alloys produced by SLM and DMLS [Текст] // Powder Metallurgy Progress. - Кошице : [б.н.], 2015 г.. - Специальный : Т. 15.
7. Lithography-based Ceramics Manufacturing (LCM) [В Интернете] // 3D Printing Media Network. - 16 Март 2022 г.. - <https://www.3dprintingmedia.network/additive-manufacturing/am-technologies/what-is-lcm-technology/>.
8. M. A. Arie S. V. Dessiatoun, A. H. Shooshtari, M. M. Ohadi Heat Transfer Summer Conference [Текст] // Performance Characterization of an Additively Manufactured Titanium (Ti64) Heat Exchanger for an Air-water Cooling Application. - Вашингтон : [б.н.], 2016.
9. R. Tiwari R.S. Andhare, A. Shooshtari, M. Ohadi Development of an additive manufacturing-enabled compact manifold microchannel heat exchanger [Текст] // Applied Thermal Engineering. - 2018 г.. - Т. 147.
10. R.P.P. da Silva M.V.V. Morteau, K.V. de Paiva, L.E. Beckedorff, J.L.G. Oliveira, F.G. Brandao, A.S. Monteiro, C.S. Carvalho, H.R. Oliveira, D.G. Borges, V.L. Chastinet Thermal and hydrodynamic analysis of a compact heat exchanger produced by additive manufacturing [Текст] // Applied Thermal Engineering. - 2021 г.. - Т. 193.
11. Singh Inderjot Kaur Prashant State-of-the-art in heat exchanger additive manufacturing [Текст] // International Journal of Heat and Mass Transfer. - Старквилл: [б.н.], 2021 г.. - Т. 178.

12. Subrahmanyam A.P.S.V.R. Srinivasa Rao P., Siva Prasad K. Critical review on characterization of dmls materials [Текст] // Journal of Xi'an University of Architecture & Technology. - Сиань : [б.н.], 2020 г.. - 4 : Т. 12.

13. U. Scheithauer E. Schwarzer, T. Moritz, A. Michaelis Additive Manufacturing of Ceramic Heat Exchanger: pportunities and Limits of the Lithography-Based Ceramic Manufacturing (LCM) [Текст] // Journal of Materials Engineering and Performance. - 2017 г.. - Т. 27.

14. Yap C.Y. Chua C.K., Dong Z.L., Liu Z.H., Zhang D.Q., Loh L.E., Sing S.L. Review of selective laser melting: Materials and applications [Текст] // Applied Physics Reviews. - [б.м.] : American Institute of Physics, 2015 г.. - 4 : Т. 2.

15. А.С. Горшенин методы интенсификации теплообмена [Текст]. – Самара: государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет, 2009.

16. Вербанов И.С. Светлаков А.Л., Лепешкин А.Р. энерго- и ресурсосбережение – XXI век [Текст] // снижение шероховатости поверхностей и испытания на герметичность теплообменных аппаратов, изготавливаемых по аддитивной технологии. - Орёл : ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019.

17. Ушакова Е.С. Арефьев К.Ю., Заикин С.В., Полянский А.Р., Исаков В.В. анализ теплопрочностного состояния цилиндрической камеры сгорания, изготовленной с использованием аддитивных технологий [Текст] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - Москва : [б.н.], 2020 г.. - 2 (719).

18. Чехович А. Технология селективного лазерного плавления (SLM) [Электронный ресурс] // iQB technologies 3D–решения для промышленности и бизнеса. - 11 Март 2022 г.. - 15 Март 2022 г.. URL: <https://blog.iqb.ru/slm-technology/>

© Нгимби И.Г., Полиэфтова А.П., Седяров О.И., 2022

УДК 675.024.4:541.49:541.64

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ХРОМ-ЦИНКОВЫХ ДУБИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОЖ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ

Новиков И.Е., Чурсин В.И.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В настоящее время одним из основных причин загрязнения урбанизированных территорий являются промышленные источники,

образующиеся в результате производственного процесса на меховых и кожевенных заводах. Промышленные отходы, представляют собой мощный источник химического загрязнения окружающей среды, и в первую очередь водоемов и подземных водных горизонтов [1].

Хромовый дубитель на протяжении многих лет занимает лидирующее положение в качестве основного дубящего вещества, используемого при выработке натуральных кож. При традиционной технологии дубления порядка 10-15% солей хрома попадает в сточные воды и требует соответствующих дополнительных методов очистки [2, 3]. Неиспользованный хром является не только экономической потерей для заводов, но также представляет собой значительный фактор загрязнения, негативно влияющий на окружающую среду [4].

Кроме того, во время утилизации изделий или использовании хром  $Cr^{3+}$ , содержащийся в коже, переходит из стабильного состояния в токсичное и мутагенное  $Cr^{6+}$ .

Одним из перспективных направлений исследований является разработка комбинированных дубителей на основе соединений алюминия, титана, циркония, в которых содержание соединений хрома составляет менее 50% [5].

Разрабатываемые альтернативные дубители должны удовлетворять следующим критериям: хорошая гидротермическая устойчивость (температура сваривания) кожевенного полуфабриката, по возможности, более светлая окраска, экологичность, сопоставимая стоимость и универсальность применения в производстве различных видов кожи. К числу таких дубителей можно отнести комбинации хром-цинк и алюминий-цинк, с помощью которых можно получить полуфабрикат светлых оттенков с температурой сваривания 85-90°C, идеально подходящих при производстве широкого ассортимента готовой продукции пастельных тонов. Цинк относится к нетоксичным соединениям – допустимое содержание цинка в сточных водах в 2 раза выше, чем  $Cr^{3+}$ , и в 20 раз выше, чем  $Cr^{6+}$  [6].

В предыдущих исследованиях установлено влияние маскирующих реагентов на устойчивость хромцинка к подщелачиванию [5]. Эффект подщелачивания позволяет проводить дубление в менее кислых растворах и обеспечивать безопасное повышение основности в процессе дубления [5].

Целью настоящей работы является отработка технологических режимов процесса дубления комбинированными цинкхромовыми дубителями и сравнение свойств полученных кож.

В рамках решения указанной задачи исследована эффективность применения маскированных комплексных дубителей, по сравнению с немаскированными при обработке двоёного голя.

Для получения комплексных дубителей использовали продукты синтеза солей цинка и хрома: Цихром С (хромовый дубитель и сульфат цинка в соотношении 1:1), Цихром СМ (хромовый дубитель и сульфат цинка при маскировании цитратом калия в соотношении 5:5:2), Цихром А (хромовый дубитель и ацетат цинка в соотношении 8:2) и Цихром АМ (хромовый дубитель и ацетат цинка при маскировании цитратом калия в соотношении 8:2:1,5).

Эксперименты проводили на двоеном голяе, полученном из шкур крупного рогатого скота (крс), после процесса золена. Преддубильные процессы осуществляли по традиционной технологии, предусматривающей обеззоливание и пикелевание.

Дубление проводили на отработанном пикельном растворе при расходе комбинированных дубителей 10% от массы голя. Повышение основности осуществляли бикарбонатом натрия с расходом 1,5% от массы голя. В ходе эксперимента контролировали диффузию дубителей в структуру дермы, температуру сваривания полуфабриката, содержание оксида хрома в отработанном растворе. Для сравнения проводили контрольное дубление сухим хромовым дубителем при тех же параметрах обработки.

Как следует из данных, представленных в табл. 1, процесс дубления завершается в течение 4-6 часов, при расходе дубителя 10% от массы голя. При этом достигается температура сваривания 83-98°C, что позволяет без затруднений, при необходимости, проводить механические процессы двоения и строгания.

Таблица 1 – Кинетика процесса дубления комбинированными дубителями Цихром

Дубление					
Степень прокраса среза голя, %					
Время дубления, мин	СХД	Цихром С	Цихром СМ	Цихром А	Цихром АМ
30	60	40	40	70	70
70	90	60	50	90	90
130	100	100	100	100	100
Повышение основности					
Значение рН раствора					
После прокраса	3,35	3,59	3,67	3,71	3,30
В конце дубления	5,21	3,88	4,06	3,89	4,95
Температура сваривания, °С					
После дубления	90	90	80	97	87
После пролёжки	91	92	83	98	87

Из анализа представленных данных следует, что интенсивность образования сшивок в структуре коллагена, а, следовательно, и получение необходимой температуры сваривания находятся в прямой зависимости от содержания хрома в дубителе. Так, использование дубителя Цихром А позволяет получить образец с температурой сваривания 98°C.

Полученный полуфабрикат доведен до состояния «краст», то есть прожирован, прокрашен и наполнен по типовой технологии, но без додубливания соединениями хрома.

Результаты определения прочностных характеристик полученного краста представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Физико-механические испытания кож для верха обуви (а – продольное направление, б – поперечное направление)

Образец кожи, полученный при дублении	Предел прочности при растяжении, МПа		Разрывное удлинение				Удлинение при напряжении 9,8 Мпа		Коэф. анизотропии
	а	б	а, мм	а, %	б, мм	б, %	а	б	
Цихром С	8,47	7,8	47	94	55	110	65	55	0,84
Цихром СМ	7,92	12,71	54	108	54	108	74	37	0,50
ЦихромА	10,61	11,07	61	122	61	122	60	72	1,16
ЦихромАМ	16,01	11,09	68	136	66	132	70	54	0,77
СХД	16,04	-	60	120	-	-	72	-	-

Сопоставление данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует о схожести свойств кож хромового и комплексного дубления. При этом образец, полученный при использовании Цихром АС имеет наивысшие показатели по пределу прочности и разрывному удлинению.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы. Анализ действующих в настоящее время способов дубления кож для верха обуви показал перспективность комплексного дубления с использованием маскированного хромцинка дубителя. Установлено, что при дублении кож с применением маскированного хромцинка дубителя температура сваривания составляет 90°C.

#### Список использованных источников:

1. Чурсин В.И. Технологические процессы и экология кожевенного производства // Монография - М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина». 2019. 161 с.
2. Volker Rabe, Taking tanning to the next level with an improved pickle product./Volker Rabe, Maurice Aertse, Thomas Schneider.//World leather.–N.4-5.–2019.–p.14-22
3. Yuling Tang, Effect of Leather Chemicals on Cr(III) Removal from Post Tanning Wastewater./ Yuling Tang, Jianfei Zhou, YunhangZeng, Wenhua Zhang, Bi Shi // Journal of the American Leather Chemists Association. –2018. – V.113.–N.3 – p.74-81
4. Чурсин В.И. Панфилов Е.В. Исследование возможности регенерации дубящих соединений хрома при осаждении отработанных растворов суспензией гидроксида магния//Дизайн и технологии. –2019. –№ 68 (110). – С. 53-62.
5. Новиков И.Е., Чурсин В.И. Влияние маскирования на устойчивость гетероядерных комплексов к подщелачиванию/В сборнике: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности. Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Москва, 2021. С. 230-234.



6. Новиков И.Е., Еремина Е.А., Чурсин В.И. Исследование комплексообразования в системе соли цинка - хромовый дубитель / Дизайн и технологии. 2021. № 81 (123). С. 21-29.

© Новиков И.Е., Чурсин В.И., 2022

УДК 544.6.076.324.1

## ПОЛУЧЕНИЕ АНОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ДИОКСИДА СВИНЦА С ВВЕДЕНИЕМ В ИХ СТРУКТУРУ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДОБАВОК

Ньейн Ч.М., Абакумов М.В., Исаев М.К., Колесников А.В.

*Федеральное государственное бюджетное*

*образовательное учреждение высшего образования*

*«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Москва*

В настоящее время электрохимическая технология широко используется в производстве изделий в машиностроении и приборостроении, в производстве товарных химических продуктов, при защите от коррозии крупных технических объектов, а также очистке сточных вод, металлургии, энергетике и даже в медицине [1, 2]. С развитием химической технологии получение электродных материалов является важной задачей. Большую актуальность имеет получение электродных материалов, которые обладают стабильностью в воде и безводных электролитах, высокой электрокаталитической активностью и сильно развитой поверхностью, а также усовершенствованной технологией изготовления [3-5]. Многие исследователи до сих пор пытаются получить более надежные и экономически выгодные электроды для различных целей. В качестве электродных материалов используются оксиды Ti, Sb, Ta, Si, Sn, Pd, Ta, Se, а также металлы платиновой группы [6]. Оксидные электроды на основе Ir и Ru обладают важными технологическими свойствами [7], однако они имеют высокую цену. В настоящее время проводятся исследования по получению перспективных анодных электродов, которые смогли бы полностью или частично заменить дорогостоящие анодные материалы на основе платины. Одним из таким перспективных анодных материалов является диоксид свинца.

Диоксид свинца ( $PbO_2$ ) в качестве покрытия электродного материала широко применяется в различных электрохимических процессах. Процесс электроосаждения состоит из образования зародышей на активных центрах поверхности и роста ядер за счет включения ионов металла из раствора. Эти активные центры распределяются по поверхности электрода случайным образом [8]. Как известно, диоксид свинца имеет две кристаллические модификации:  $\alpha$ - $PbO_2$  и  $\beta$ - $PbO_2$ . Электроосаждение является традиционным способом получения этих двух фаз  $PbO_2$ . Согласно литературным данным

$\alpha$ -PbO<sub>2</sub> обладает более низкой электрохимической активностью и электропроводностью, чем  $\beta$ -PbO<sub>2</sub> [9]. Однако, несмотря на эти недостатки,  $\alpha$ -PbO<sub>2</sub> химически более стабилен, чем  $\beta$ -PbO<sub>2</sub>, что имеет огромное значение при циклировании свинцово-кислотных аккумуляторов, способствуя увеличению срока службы [10].

Известно, что щелочной раствор позволяет получать компактные покрытия из диоксида свинца, что придает ему металлический блеск. В щелочных растворах электросинтез плюмбат-анионов происходит в соответствии с реакцией:  $\text{PbO}_2^{2-} + 2\text{OH}^- - 2e^- = \text{PbO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$  (1).

Образовавшиеся плюмбат-анионы разлагаются на аноде с образованием диоксида свинца по реакции:  $\text{PbO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{PbO}_2\downarrow + 2\text{OH}^-$  (2).

Одновременно на катоде происходит выделение металлического свинца по реакции:  $\text{PbO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Pb}\downarrow + 4\text{OH}^-$  (3).

Методика проведения эксперимента.

В качестве основы для получения анодного покрытия в эксперименте были использованы свинец и нержавеющая сталь. В качестве катода использовался никель.

Перед нанесением покрытия производилась предварительная подготовка основы к нанесению покрытия. На первом этапе основу обезжиривали и промывали дистиллированной водой (ГОСТ 6709-72). После обезжиривания нерабочую поверхность основы покрывали лаком. На втором этапе для свинцовых заготовок производили травление в растворе азотной кислоты (1:4) в течение 30 секунд, а для основы из нержавеющей стали в растворе 10% HCl. Поверхность свинца после травления получалась равномерно светло-серого цвета. После травления заготовки тщательно промывались дистиллированной водой.

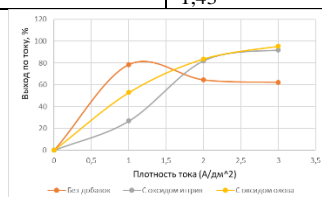
Покрытия получали из щелочного плюмбатного электролита следующего состава: Pb – 0,2 н., NaOH – 1 н.,  $t = 60^\circ\text{C}$ ,  $i = 0,5-1 \text{ A/дм}^2$  и  $i = 2-3 \text{ A/дм}^2$ .

Анод – свинцовая пластина и пластина из нержавеющей стали толщиной 2 мм с рабочей площадью 9 см<sup>2</sup>; катод – никелевая пластина (9 см<sup>2</sup>); раствор электролита готовили из свежесождённого осадка Pb(OH)<sub>2</sub>, полученного из эквивалентных количеств NaOH и Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Полученный осадок декантировали 3 раза дистиллированной водой для отделения нитрат ионов [11].

В данной работе проведено исследование влияния композиционных добавок на свойства покрытия из диоксида свинца. Экспериментальные данные приведены в табл. 1 и рис. 1 при плотности тока 1, 2 и 3 А/дм<sup>2</sup>.

**Таблица 1 – Экспериментальные данные по получению покрытия диоксида свинца с введением композиционных добавок оксида иттрия и оксида олова**

Условия эксперимента	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Время электролиза, ч	Выход по току, %
Температура: 60 °С материал катода: никель, материал анода: нержавеющая сталь. Концентрация композиционных добавок оксида олова и иттрия: 0,5 г/л.	Без добавок		
	1	4,3	78,49
	2	2,15	64,47
	3	1,43	62,27
	С оксидом иттрия		
	1	4,3	26,74
	2	2,15	81,97
	3	1,43	91,86
	С оксидом олова		
	1	4,3	52,91
	2	2,15	83,72
	3	1,43	95,34



**Рисунок 1 – Зависимость влияния выхода по току от плотности тока**

По полученным данным видно, что при отсутствии добавок выход по току увеличивается до 78,79% при плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup>. При плотности тока 2 и 3 А/дм<sup>2</sup> выход по току уменьшается. С композиционными добавками (оксиды иттрия и олова) выход по току увеличивается до 95,34% при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup> с оксидом олова.

Оптимальными условиями для получения диоксида свинца на основе из нержавеющей стали в щелочном плюмбатовом электролите является значение плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup>, температура 60°С, а также перемешивание электролита. При этих условиях получают равномерные покрытия с небольшой шероховатостью тёмно-синего цвета.

Осаждение с композиционными добавками в щелочном плюмбатовом электролите оптимально проводить при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup>. Важным условием является перемешивание электролита.

При пропускании 4-7 А·ч/дм<sup>2</sup> электричества из раствора начинается выделение донных отложений кирпично-красного цвета, резко ухудшающих качество оксидного покрытия.

Установлено, что введение композиционных добавок в структуру осадка из диоксида свинца, изменяют свойства покрытий.

#### **Список использованных источников:**

1. Колесников В. А., Ильин В. И., Капустин Ю. И., Вараксин С. О., Кисиленко П. Н., Кокарев Г. А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий [Статья]. - Химия. 2007. -304с.
2. Андреев И. Н. Введение в электрохимические технологии. Краткий конспект лекций для студентов химико-технологических специальностей [Учебник] / Казан. гос. технол. ун-т; И.Н. Андреев. Казань, 2006. -78 с.

3. Колесников В. А., Новиков В. Т., Исаев М. К. Исследование электродов с активным слоем из смеси оксидов TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> / Стекло керамика. No. 4, 2018. с. 26-32.

4. F. Liu, L. Ma, X. B. Li, and Y. G. Yan. Study on the degradation of dye solution using Ti-IrO<sub>2</sub>-RuO<sub>2</sub> electrode, in: Water Resources and Environment [Статья] / Proc. of the Intern. Conf. on Water Resources and Environment (2016), pp. 119-123.

5. C. Zhang, D. Tang, and X. Íu. Scalable synthesis and excellent catalytic effect of hydrangea-like RuO<sub>2</sub> mesoporous materials for lithium-O<sub>2</sub> batteries [Статья] / Energy Storage Mater., pp. 2, 8-13 (2016).

6. J. Ribeiro and A. R. De Andrade. Characterization of RuO<sub>2</sub> - Ti<sub>2</sub>O<sub>5</sub> coated titanium electrode microstructure, morphology, and electrochemical investigation [Статья] / J. Electrochem. Soc., 151(10), pp. 106-112 (2004).

7. Xu wen X, C. Zhen, and L. Fuping. Advanced treatment of biologically pretreated coking wastewater by electrochemical oxidation using Ti-RuO<sub>2</sub>-IrO<sub>2</sub> electrodes [Статья] / Chem. Technol. Biotechnol., No. 8, pp. 1568-1575 (2013).

8. Пат. 2017123959 Российская Федерация, RU 2652328 С1. Электролит для электролитического осаждения меди / Писарев А.С., Серов А.Н., Желудкова Е.А., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Калинина А.А., Архипов Е.А., Ваграмян Т.А.

9. Лукьяненко Т.В., Величенко А.Б., Шмычкова О.Б. Синтез и электрокаталитическая активность композитных покрытий PbO<sub>2</sub>-полиэлектролита и PbO<sub>2</sub>-пав [Статья] / Vol. 27 № 1 (2019): Журнал химии и технологий. - 2019. - Т. - 27. - № 1. - С. 91-100.

10. Lee C., Lai Y., Pan K., Tan H., Chen H. Impact of Acetate Additive on PbO<sub>2</sub> Plating and Oxygen Evolution in Soluble Lead Flow Batteries [Статья] / ACS Appl. Energy Mater. - 2011. - V.23. - P. 98-106.

11. Джафаров Э. А. Электроосаждение, свойства и применение двуокиси свинца [Учебник]. – Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1967г. с. 13-150.

© Ньин Ч.М., Абакумов М.В.,  
Исаев М.К., Колесников А.В., 2022

УДК 004.9

## ДИДЖИТАЛИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ПЕСТИЦИДНОЙ ОТРАСЛИ

Рахматуллин С.С., Мифтахов А.Р.

Научный руководитель Куценко С.М.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Казань*

Различные блага диджитализации в виде таких цифровых продуктов и услуг как роботы, дроны и информационные алгоритмы в современном сельском хозяйстве стали крупным бизнесом с большими перспективами. Предполагается, что они помогут фермерским предприятиям обходиться меньшим количеством пестицидов. Однако принесет ли это все экономическую эффективность в обозначенной отрасли, по мнению экспертов, пока рассуждать рано [1, с. 38].

Несмотря на свою протяженную историю, сельское хозяйство в настоящее время все еще сталкивается с серьезными проблемами. С одной стороны, ему приходится бороться с болезнями растений, насекомыми-вредителями и конкурирующими между собой травами, а с другой – высокое потребление пестицидов несет в себе совершенно новые опасности для человека и природы. Компании, занимающиеся сельскохозяйственными технологиями, обещают решить эти проблемы с помощью цифровых технологий, которые носят название «умное земледелие». Так, в Германии доля агропромышленных предприятий, применяющих данный подход на полях площадью 100 гектар и более, составляет 91% (рис. 1) [2].

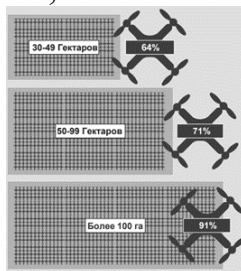


Рисунок 1 – Количество (в %) ферм, использующих цифровые технологии «умное земледелие», в зависимости от площади полевых территорий

По данным экспертов, более 80% европейских фермерских хозяйств уже используют цифровые технологии. К примеру, сорок пять процентов опрошенных в исследовании [3, с. 15] фермеров применяют сельскохозяйственную технику с GPS-контролем, сорок процентов пользуются специализированными сельскохозяйственными приложениями для смартфонов и планшетов, а тридцать процентов работников АПК

используют IT-решения при осуществлении защиты растений или удобрений на полевых территориях.

Согласно актуальным прогнозам, рынок так называемого подключенного сельского хозяйства в 2023 году вырастет до более чем четырех миллиардов долларов США. Важно отметить, что в 2020 году американские стартапы в сфере продовольствия и сельского хозяйства привлекли более 30 млрд. долларов США венчурного капитала от крупных инвестиционных компаний, что в 8 раз больше, чем в 2012 году. Среди привлеченных средств около 2,5 млрд. евро поступило в технологические компании ЕС. В этом контексте исследователи сообщают о довольно высоких ожиданиях на рынках цифровых продуктов и сельского хозяйства, которые в совокупности в скором времени должны будут охватить девять миллиардов человек. Также ожидается, что цифровизация АПК повысит доходы его работников, поможет защитить планету от климатических изменений и сохранить глобальное биоразнообразие, благодаря более точному применению пестицидов и удобрений, дозы которых, разумеется, снизятся.

Вообще говоря, цифровизация сельского хозяйства проявляется во многих направлениях аграрного производства, в том числе в сфере применения пестицидов и борьбы с сорняками. К примеру, в полевых территориях сегодня во всем мире активно используются GPS-камеры, которые определяют сорняки, передавая эту информацию на сопряженные полевые опрыскиватели, открывающие свои форсунки конкретно на тех местоположениях, данные по которым были получены. Также нельзя не упомянуть самоходные полевые роботы, которые используют аналогичную технологию распознавания для избирательного удаления дикорастущих сорняков. Важно отметить и дроны, которые программируются на обнаружение сорняковых скоплений с высоты птичьего полета. Что касается информационных алгоритмов, то они сегодня способны обнаруживать зараженные вредителями растения, среди десятков тысяч незараженных соседних. По словам производителей таких цифровых продуктов и услуг, все перечисленное в ближайшем будущем станет частью повседневной жизни в полевых условиях любых сельскохозяйственных предприятий [4, с. 54; 5, с. 33].

В обозначенном проблемном поле сегодня активно проводятся научные исследования и разработки. Так, в настоящее время немецкая фирма по производству сахара Südzucker AG, компания Amazone, специализирующаяся на сельскохозяйственных технологиях и технике, и датский производитель полевых роботов FarmDroid в рамках совместного экспериментального проекта проверяют то, как можно сократить использование гербицидов и инсектицидов на полях сахарной свеклы. Для этого полевой робот, оснащенный высокоточной системой посева GPS,

высеивает семена сахарной свеклы по так называемой точной сетке: запоминает положение свеклы и при прополке мотыжит конкретно вокруг данного положения. Поскольку трудно удалить сорняки в непосредственной близости от растения, не повредив при этом свеклу, робот распыляет специальный уничтожающий первый препарат [6].

Не редки и попытки анализа больших данных. В настоящее время сельскохозяйственные машины уже способны регистрировать интенсивность питания почвы. Они вводят эту информацию в базы данных, которые в сочетании с информацией о планах выращивания и эмпирическими значениями предыдущих прошлогодних практик рассчитывают необходимое количество удобрений и пестицидов. Здесь компании, занимающиеся Big Data, играют важную роль в разработке и предоставлении технологий, обработке и использовании собранных данных. К примеру, компания Google сегодня сотрудничает с такими федеральными и государственными органами, как Национальное управление океанических и атмосферных исследований. Ожидается, что искусственный интеллект (ИИ) интернет-гиганта и имеющиеся огромные данные метеорологического ведомства обеспечат в ближайшем будущем точные прогнозы погоды, которые, в частности, окажутся весьма полезными для сельскохозяйственного сектора [7, с. 554].

Что касается экологических последствий цифровизации сельского хозяйства, то ученые заявляют, что это зависит от многих факторов и развитие диджитал-технологий в АПК может привести как к положительным, так и к отрицательным результатам. С одной стороны, экспертная литература указывает на имеющийся потенциал цифровых продуктов, благодаря которым применение пестицидов может быть сокращено на 90%. С другой стороны, вероятен и так называемый эффект отскока, означающий, к примеру, увеличение потребления энергии в результате внедрения инновационных технологий или расширение интенсивного производства на экологически ценных землях, которые до этого использовались лишь экстенсивно или же вообще не использовались [8, с. 5176].

По поводу глобальной цифровизации сельского хозяйства у ученых сегодня много вопросов. Например, неизвестно как небольшие фермерские предприятия бедных стран смогут внедрять цифровые продукты и услуги. Также до сих пор мало что известно о реальных преимуществах диджитал-технологий для АПК. В настоящее время практически нет данных о том, действительно ли современные технологии приводят к уменьшению использования пестицидов. Исследователи заявляют, что, хотя цифровизация способна внести какой-либо ограниченный вклад в необходимые сельскохозяйственные преобразования, максимально точно уничтожая дикие растения в полях, полностью устранить проблемы в

аграрной отрасли с помощью нее не удастся, то есть из-за ядов в пестицидах полевые птицы и насекомые в любом случае продолжают погибать [9, с. 19].

Также существенной проблемой цифровизации сектора сельского хозяйства можно назвать политику крупных корпораций. К примеру, на рынок сельскохозяйственных данных сегодня проникают преимущественно такие компании-гиганты, как Google и Amazon. Это справедливо и в отношении других направлений, например, «умного земледелия», где летом 2021 года химическая компания BASF и технологическая группа Bosch основали совместное транснациональное предприятие. Поэтому можно сказать, что сегодня одной из основных отраслевых политических задач является предотвращение коммерциализации агропромышленных данных о климате, выращивании и питании, а также отстаивание фермерами своего информационного суверенитета. В ином случае велик риск того, что глобальная цифровизация будет все интенсивнее и чаще способствовать неустойчивости сельского хозяйства [10, с. 374; 11, с. 148].

#### **Список использованных источников:**

1. Козырева, А. А., Пашканг, Н.Н. Тенденции развития информационных технологий в российском АПК / А. А. Козырева, Н. Н. Пашканг // Актуальные вопросы современной аграрной экономики: матер. межвузовской студенческой научно-практич. конфер. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ. 2020. – С. 36-40.

2. Pesticide Atlas 2022: Facts and figures on poisons in agriculture. [Electronic resource]. – Electronic data. – Latinapress Agency. 2022. – Mode access: <https://latina-press.com/news/296627-pestizidatlas-2022-daten-und-fakten-zu-giften-in-der-landwirtschaft/>.

3. Abbasi, R., Martinez, P., Ahmad, R. The digitization of agricultural industry—a systematic literature review on agriculture 4.0 / R. Abbasi, P. Martinez, R. Ahmad // Smart Agricultural Technology. – 2022. – № 1. – С. 10-18.

4. Oliveira, L., Moreira, A., Silva, M. Advances in agriculture robotics: A state-of-the-art review and challenges ahead / L. Oliveira, A. Moreira, M. Silva // Robotics. – 2021. – № 2. – С. 52-59.

5. Захарова, О. А. и др. Мелиорация земель и возможность ее цифровизации / О. А. Захарова и др. // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 31-37.

6. Weed control spot on. [Electronic resource]. – Electronic data. – Südzucker Group. 2021. – Mode access: <https://www.suedzucker.de/en/press/sudzucker-amazone-and-farmdroid-test-innovative-solution-weed-control>.

7. Cravero, A., Sepúlveda, S. Use and adaptations of machine learning in big data—Applications in real cases in agriculture / A. Cravero, S. Sepúlveda // Electronics. – 2021. – № 5. – С. 552-557.



8. Rolandi, S. et al. The digitalization of agriculture and rural areas: Towards a taxonomy of the impacts / S. Rolandi et al. // Sustainability. – 2021. – № 9. – С. 5172-5179.

9. Lioutas, E., Charatsari, C., De Rosa, M. Digitalization of agriculture: A way to solve the food problem or a trolley dilemma? / E. Lioutas, C. Charatsari, M. De Rosa // Technology in Society. – 2021. – № 3. – С. 17-25.

10. Рахматуллин, С. С. Характер воздействия диджитализации политических процессов и его последствия для современного общества / С. С. Рахматуллин // Современная политическая наука о траекториях развития государства, бизнеса и гражданского общества (Мир в постковидную эпоху: от разобщенности к единству): Сб. статей II Междунар. научно-практич. конфер. – Минск: Колорград. 2021. – С. 373-376.

11. Рахматуллин, С. С. Исследование инвестиционных процессов в отрасли сельского хозяйства региона / С. С. Рахматуллин, Э. Р. Алтынбаева // Экономика регионов: источники роста: II Всеросс. научно-практич. конфер. – Курск: Курский государственный университет. 2021. – С. 146-151.

© Рахматуллин С.С., Мифтахов А.Р., 2022

УДК 677.027.422

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС КРАШЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИРОДНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

Скобова Н.В., Кузнецова А.О.

*Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»,  
Витебск, Беларусь*

В современном мире при крашении целлюлозных материалов чаще всего используют синтетические красители, которые востребованы по нескольким причинам. Их легко производить в больших количествах, они требуют меньше ресурсов, дешевле в производстве и просты в применении. Однако технология из применения оказывает негативное влияние на состояние водных объектов, в которые сбрасываются сточные воды красильных отходов, кроме того, технология крашения материалоемкая из-за высокого потребления воды, до трех четвертей которой становится непригодной для питья – токсичной смеси красителей, щелочей, химикатов, солей, тяжелых металлов и вредных химикатов.

На сегодняшний день информация о негативном влиянии синтетических красителей на окружающую среду приводит к тому, что некоторые производители и потребители тканых материалов задумываются о возврате к натуральным красителям.

Основным достоинством природных красителей является их экологическая безопасность, поскольку, попадая в сточные воды, они могут служить удобрениями и питательными веществами в отличие от многих синтетических красителей, обладающих токсическим действием. Также натуральные красители являются гипоаллергенными.

На кафедре экологии и химических технологий УО ВГТУ ведется работа по разработке технологии крашения натуральных текстильных материалов природными красителями, произрастающими на территории республики.

Проведено экспериментальное исследование влияния ультразвуковой обработки растительного сырья на выход красящего пигмента в красильный раствор для улучшения степени окрашивания текстильных материалов. Крашению подвергали хлопчатобумажную ткань, подготовленную по традиционной технологии (щелочная отварка) и биообработанную ткань, прошедшую процесс биоотварки с использованием ферментных препаратов целлюлолитического действия.

В качестве растительного сырья использовали пижму обычную (*Chrysanthemum vulgare*) – соцветия растения.

Исследования проводились в ультразвуковой лабораторной ванне Сапфир 1,3. Регулируемыми параметрами ванны являются мощность волны (до 99 Вт), время озвучивания, температура ванны (до 70°C), частота колебаний постоянна и составляет 35 кГц.

Используя матрицу D-оптимального плана, проводились 9 опытов с двумя поверхностями. Преимуществами выбранного плана являлась возможность варьирования каждого фактора на трех уровнях, при этом матрица имеет меньшее число опытов по сравнению с РКЦЭ, строится на гиперкубе и является почти ротатабельной.

Входными факторами выбраны технологические режимы работы ультразвуковой ванны: мощность ультразвуковой волны и время озвучивания. В качестве выходных параметров исследовали оптическую плотность красильного раствора, взятого из красильной ванны после крашения, и насыщенность оттенков полученных образцов ткани (табл. 1).

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Факторы	Натуральные значения		
	нижний	основной	верхний
Мощность волны (N), Вт	30	60	90
Время озвучивания (T), мин	20	30	40

Оптическую плотность красильного раствора оценивали на спектрофотометре Solar 2201PB, работающим в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Исследования проводились в режиме поглощения на длине волн, соответствующих максимальному спектру (255 нм и 405 нм).

Результаты экспериментальных данных обрабатывались с помощью статистической программы Statistica for Windows. Разрабатывались

полиномиальные модели второго порядка взаимосвязи оптической плотности красильного раствора и технологических режимов озвучивания растительного сырья. Оценка значимости рассчитанных коэффициентов регрессионной модели проводилась по показателю  $p \leq 0,05$ .

По результатам обработки экспериментальных данных разработаны регрессионные модели зависимости оптической плотности красильного раствора до крашения и после крашения ткани (приведены модели для длины волны 255 нм) от технологических режимов озвучивания растительного сырья:

красильный раствор до крашения<sup>^</sup>

$$D_{\text{традиц}} = 4,662 - 0,0238 \cdot N + 0,00275 \cdot N \cdot T + 0,0295 \cdot N^2 \quad (1)$$

после крашения традиционно подготовленной ткани

$$D_{\text{традиц}} = 4,655 - 0,0255 \cdot N + 0,0342 \cdot N^2 + 0,0067 \cdot T^2 \quad (2)$$

после крашения биоподготовленной ткани

$$D_{\text{биоподг.}} = 4,659 - 0,0248 \cdot N + 0,0075 \cdot T + 0,0342 \cdot N^2 + 0,0075 \cdot N^2 \cdot T \quad (3)$$

Оценка адекватности разработанных моделей оценивалась по рассчитанному коэффициенту детерминации: по модели (1)  $R^2=0,998$ , по модели (2)  $R^2=0,971$ , по модели (3)  $R^2=0,955$ , что подтверждает высокую достоверность разработанных моделей.

Оптическая плотность красильного раствора, полученного без предварительного озвучивания сырья (подготовка проводилась путем замачивания сухого сырья в течении 2 часов), составила 4,73, что значительно выше любого из девяти значений оптической плотности из матрицы эксперимента. Это подтверждает эффективность применения этапа озвучивания растительного сырья для увеличения выхода красящего пигмента в раствор.

По полученным моделям (2) и (3) построены графические образы анализируемых зависимостей (рис. 1).

Анализ совмещенного графика показателя оптической плотности красильного раствора после крашения двух вариантов ткани (подготовленной по традиционной технологии и биоотваренной ткани), показывает, что биоотваренная ткань выбрала из ванна больший процент красящего пигмента. Наилучшая окрашиваемость обоих вариантов ткани достигается при технологических режимах ультразвуковой ванны: мощность ультразвуковой волны 30 Вт, время озвучивания 20-30 минут.

Насыщенность оттенков полученных образцов тканей изменялась в диапазоне от 0,51 до 0,63. Наиболее яркие образцы получены при мощности волны не выше 60 Вт независимо от времени озвучивания.

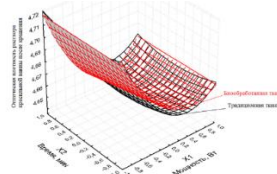


Рисунок 1 – Совмещенный график

По результатам проведенных исследований установлено, что применение 20 минутной ультразвуковой обработки растительного сырья при небольшой мощности волны (30 Вт) позволяет улучшить окрашиваемость полотна за счет большего процента выхода красящего пигмента в раствор, а предварительная биоотварка тканого полотна способствовала повышению капиллярных свойств ткани и как следствие, повысила выбираемости красителя волокном.

#### **Список использованных источников:**

1. Кузнецова, А. О. Технология подготовки растительного сырья к крашению натуральных волокон / А. О. Кузнецова, Н. В. Скобова // Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молодь – науці і виробництву – 2021: Інноваційні технології легкої промисловості»: матеріали конференції, м. Херсон, 19–20 травня 2021 р. / Херсонський національний технічний університет. – Херсон, 2021. – С. 43–44

2. Кузнецова, А. О. Спектрофотометрический метод оценки подготовки сырья к крашению / А. О. Кузнецова, Н. В. Скобова // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів і молодих учених, присвяченої 50-річчю кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації ХНТУ «Сучасний стан оцінки відповідності товарів та послуг», Херсон, 18–19 травня 2017 р. / Херсонський національний університет. – Херсон, 2021. – С. 42–44.

© Скобова Н.В., Кузнецова А.О., 2022

**УДК 620.9**

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Сорокин А.Н.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

При проектировании современных проектов зданий, частных домов, а также реконструкции уже имеющегося жилищного фонда, остро встает вопрос эффективного использования энергоресурсов, в частности утилизация теплоты, на выходе из помещения. Разумеется, в некоторых

случая это может быть экономически неоправданной мерой. Рассмотрим технические решения, применяемые для утилизации тепла.

1. Регенерация теплоты воздуха. Чаще всего для этих целей применяю аппараты с вращающимся ротором (рис. 1).

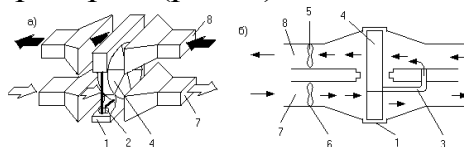


Рисунок 1 – Общий вид и разрез вращающегося теплоутилизатора: 1) корпус; 2) двигатель; 3) камера продувки; 4) ротор с насадкой; 5, 6) вентиляторы (вытяжной и приточный); 7, 8) приточный и вытяжной воздуховоды

Воздушный короб разделен перегородками на две части: одной из них движется горячий воздух, в другой – холодный. Два потока поочередно омывают насадку во вращающемся роторе, в которой имеется система малых продольных каналов. У насадки могут быть различные пористые наполнители: – гофрированная металлическая фольга, сетка, стружка и т.п. В отдельных случаях она выполняется из сорбирующих влагу материалов (технического картона, бумаги, целлюлозы и др.) и пропитывается сорбентом (хлористым или бромистым литием), который удаляет излишки влаги из выходящего из помещения воздуха и передачу ее при десорбции приточному воздуху.

В регенераторе поперечное сечение ротора делится на три подвижных поверхности: соответственно первая, это движение теплового воздуха, вторая приточный воздух, для нагрева, третья продувочный шлюз. Его предназначение это удаления загрязненного воздуха, используемого для замешивания в первую поверхность [1].

2. Рекуперация теплоты воздуха. В качестве утилизаторов теплоты применяются рекуперативные теплообменники разных конструкций: пластинчатые с каналами различного сечения, кожухотрубные, аппараты с промежуточным теплоносителем. Они представлены на рис. 2.

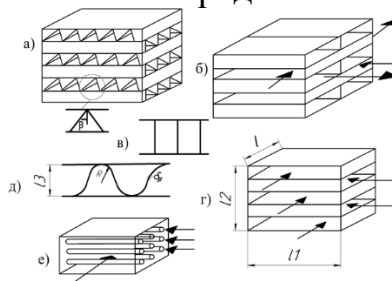


Рисунок 2 – Схемы рекуперативных теплообменников пластинчатых с каналами ( $\beta=30^\circ$ ;  $R=13/2$ ;  $\delta p=0.15$  мм): а) треугольного сечения; б) многоходовые по одному из потоков; в) П-образного сечения; г) из гладких пластин; д) U-образного сечения; е) кожухотрубные

В рекуператорах обычно реализовано движение теплоносителей по схеме перекрестного тока; при этом теплообмен может происходить как в «сухом» режиме, так и «мокроем», т.е. с выпадением конденсата на теплообменной поверхности. При температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$  этот конденсат может замерзнуть, образуя слой инея, препятствующий теплообмену.

Пластинчатые рекуператоры собирают из гладких пластин, соответственно с плоскими каналами (рис. 2г). А между гладкими пластинами зачастую применяются пластины треугольного, U-, или П-образного профиля (см. рис. 2а, 2б, 2в, 2е). Такие профилированные каналы позволяет значительно увеличить площадь теплообменной поверхности.

В кожухотрубных аппаратах внутри трубы проходит приточный воздух, а соответственно в межтрубном пространстве проходит утилизируемый воздух из помещения (рис. 2е). Также для удаления конденсата предусмотрен дренаж, который образуется при прохождении точки россы вытяжным воздухом. Образование наледи в вытяжном канале является одной из проблем, которая решается обычным регулированием, а именно изменением расхода входящего воздуха, перераспределяя его в обводной канал. Если же такая необходимость отсутствует температуру приточного воздуха регулируется изменением расхода через байпас того или иного воздуха [2].

В тех случаях, когда в помещении отсутствует принудительная вентиляционная система, возможно применение децентрализованных воздушных рекуператоров (рис. 3). Устройства подобного типа выступают в роли обычной форточки и, как правило, их устанавливают в подоконных нишах или в других удобных местах.

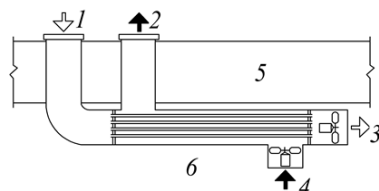


Рисунок 3 – Схема децентрализованного воздушного рекуператора: 1, 3) потоки приточного воздуха; 2, 4) потоки вытяжного воздуха; 5) стена помещения; 6) рекуператор

Представленный на рисунке рекуператор обеспечивает комфортные условия пребывания людей при весьма низком собственном энергопотреблении.

### 3. Теплообменники с промежуточным теплоносителем (рис. 4).

На схеме теплоутилизатора, показанной на рис. 4, видно, что в потоках вытяжного и приточного воздуха установлены теплообменники, подключенные к циркуляционному контуру, в котором движется промежуточный теплоноситель. Эти теплообменники могут быть рекуперативными или контактными [3].

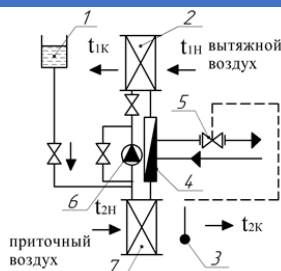


Рисунок 4 – Схема теплоутилизатора с промежуточным теплоносителем: 1) расширительный бак; 2) теплообменник; 3) датчик температуры; 4) подогреватель промежуточного теплоносителя; 5) регулирующий клапан; 6) циркуляционный насос; 7) теплоприемник

Аппараты с промежуточным теплоносителем могут работать как с капельными жидкостями, так и с влажными парами. В первом случае используют воду или другие жидкости, не замерзающие в рабочем диапазоне температур (в частности, водные бромисто- и хлористолитиевые растворы). Во втором – обычно применяют различные хладоны, иногда аммиак.

В период сильных холодов приточный воздух может быть доведен до необходимой температуры с помощью воздухоподогревателя. Также приточный воздух может быть нагрет с помощью дополнительного подогревателя промежуточного теплоносителя, опираясь на показания датчика температуры приточного воздуха 3. Предотвращение обмерзания поверхности теплообменника 2 достигается путем увеличения расхода промежуточного теплоносителя в период низких наружных температур при включении резервного насоса [4].

4. Теплонасосная утилизация низкопотенциальной теплоты воздуха (рис. 5).

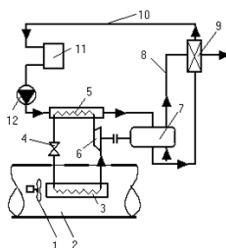


Рисунок 5 – Утилизация тепла воздуха с помощью теплового насоса: 1) вытяжной вентилятор; 2) вытяжной воздух; 3) испаритель; 4) дроссель; 5) конденсатор; 6) компрессор; 7) газовый двигатель; 8) уходящие газы; 9) утилизатор тепла уходящих газов; 10) отопительный трубопровод; 11) отопительный прибор; 12) насос

Наибольшее распространение в установках утилизации тепла получили компрессионные тепловые насосы (рис. 5). В них компрессор засасывает из испарителя пары рабочего вещества, сжимает их и подает в конденсатор. Тепло, получаемое в результате конденсации рабочей среды, является полезной энергией и должно быть отведено из конденсатора. Из

конденсатора рабочее вещество через дроссель поступает в испаритель. Так как в дросселе осуществляется снижение давления рабочего вещества, испарение в испарителе происходит при более низкой температуре, чем конденсация в конденсаторе. Поэтому теплота на испарение отбирается от источника с более низкой температурой, чем теплота, передаваемая потребителю тепла в конденсаторе. Источники низкопотенциальной теплоты могут быть различными; в частности, для этих целей вполне можно использовать тепло вытяжного воздуха вентиляционных систем [5].

Работа тепловых насосов и соответственно их компрессоров осуществляется с помощью ДВС на различном топливе или электродвигателей. Существует разница в получаемой температуре при работе теплового насоса, в зависимости от типа двигателя компрессора: с электродвигателем это 50...60°C, а при работе компрессора на ДВС, с применением тепла уходящих газов, а также тепла воды, охлаждающей двигатель, можно получить до 95°, а коэффициент преобразования энергии при этом находится в диапазоне 3,5...6,5.

В конденсаторе вода нагревается до температуры, которая может быть использована для ГВС или теплых полов для обогрева помещения, системы воздушного отопления. При прохождении через водоохлаждаемую рубашку блока газового двигателя вода нагревается до 80...85°C. Далее в теплоутилизаторе может быть подогрета теплом продуктов сгорания, при этом они охлаждаются с 650° до 100°, что положительно влияет на экологию.

Одним из главных недостатков поршневых газовых двигателей можно назвать высокий уровень шума, при, поэтому стоит уделить особое внимание мероприятиям по его снижению, т.к. без них он может достигать 95 дБ., что плохо может плохо отразиться на здоровье и спокойствии других людей.

Для работы теплового насоса большое значение имеет выбор рабочего вещества. Наиболее распространен хладон R-12, который применяют в одноступенчатых среднетемпературных тепловых насосах в диапазоне температур кипения 10...25°C. Хладон R-12 позволяет получить температуру в конденсаторе не более 55...60°C. Перспективным считается хладон R-142, с помощью которого обеспечивается нагрев теплоносителя до 90...100°C. Недостатком хладона R-142 является его горючесть. При оценке рабочих веществ необходимо обращать внимание на их объемную теплопроизводительность, степень сжатия и максимальное давление в компрессоре. Наиболее высокой объемной производительностью обладает хладон R-12, его потребуется почти в 2 раза меньше, чем хладона R-318 и в 3 раза меньше, чем хладона R-114 для выработки одного и того же количества тепла. Главный недостаток хладона R-12 высокое давление со



стороны конденсации, не позволяющее получить тепло с более высокой температурой, чем указано выше [6].

**Список использованных источников:**

1. Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях (ред. Клименко А.В.). М.: ИД МЭИ, 2010. – 423 с.
2. Справочник по теплообменникам, т. 1 / Под ред. Мартыненко О.Г. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 273 с.
3. Везиришвили О.Ш., Меладзе Н.В. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения. – М.: Изд. МЭИ, 1994. – 160 с.
4. Янговский Е.И., Пустовалов Ю.В. Парокомпрессионные теплонасосные установки. – М.: Энергоиздат, 1982, – 142 с.
5. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения. Справочник, кн. 1, – М.: Изд. Теплоэнергетик, 2003, – 688 с.
6. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 220 с.

© Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Сорокин А.Н., 2022

УДК 66.047

**ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА  
СУШКИ ГРАНУЛ ПОЛИКАПРОАМИДА  
С УЧЕТОМ ЕГО СОРБЦИОННО-СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ**

Федорова А.А.

Научный руководитель Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Решение задачи снижения энерго- и ресурсоёмкости в различных отраслях промышленности и обеспечение рационального и экологически безопасного использования энергии и сырьевых ресурсов невозможно без совершенствования процессов сушки, которые в значительной степени определяют качественные показатели целевых продуктов [1-6].

В качестве объекта исследования выбран материал, имеющий промышленное значение и используемый как волокнообразующий полимер в производстве полиамидных волокон – поликапроамид (ПКА). ПКА применяется в производстве полиамидных волокон, доля которых в общем производстве синтетических волокон непрерывно возрастает.

Целью работы является изучение области применения полиамидных волокон, анализ свойств поликапроамида как объекта технологической обработки, в том числе сушки, выбор способа его сушки.

В настоящее время полиамидные волокна используются для промышленного производства большого ассортимента трикотажной продукции, для создания прочных ниток, различных изделий галантереи, прочных канатов и сетей, длинных конвейерных лент, автомобильного корда. Из них вырабатываются ткани технического и бытового назначения. Широко распространены и востребованы текстурированные нити из таких волокон.

В текстильной промышленности востребовано штапельное волокно, смешиваемое с хлопковыми, шерстяными или вискозными волокнами. Незначительное добавление полиамидных волокон в рабочую смесь практически не ухудшает гигроскопичности изделий, но сильно увеличивает срок их эффективной службы [7-9].

В современной текстильной промышленности из полиамидных волокон изготавливаются синтетические ткани, ковровая продукция, мех искусственного происхождения и разнообразные виды пряжи, носки и чулочная продукция [7-9].

С использованием полиамидных волокон создаются прочные автомобильные кордовые нити, изготавливаются высокопрочные канаты, ленты для транспортеров, сети для рыболовной промышленности [7-9].

В пищевой промышленности с их использованием создаются отдельные детали для оборудования, которые соприкасаются с продуктами.

В современной медицинской сфере высокопрочные полиамидные волокна применяются для создания искусственных вен, артерий, а также некоторых видов протезов. В хирургии полиамидными нитями накладываются швы при проведении операций [7-9].

Процесс сушки гранул поликапроамида (ПКА) является одним из важных этапов технологии производства полиамидного волокна. Для получения волокна высокого качества в результате сушки гранул должна быть обеспечена достаточно высокая степень их обезвоживания [10, 11].

Необходимость глубокой сушки ПКА обусловлена тем, что влагосодержание больше 0,1% способствует деструкции полимера на плавильной решетке, снижению степени его полимеризации, повышению обрыва получаемого волокна, поэтому сушить надо до влагосодержания не более 0,05 % [10, 11].

Выбор рационального режима сушки невозможен без изучения свойств объекта сушки.

Известно, что одними из важнейших характеристик материала как объекта сушки являются сорбционно-структурные характеристики, в частности, изотермы (сорбции-десорбции) и кривые распределения объемов

пор по радиусам, а также критический диаметр пор по классификации дисперсных материалов как объектов сушки [10].

На основе комплексного анализа влажных тел проф. Б. С. Сажиним предложена классификация дисперсных материалов как объектов сушки [12].

Установлено, что основным показателем, обуславливающим длительность сушки, является внутренняя структура материалов. Фрагмент классификации приведён в табл. 1.

Эта классификация, позволившая уточнить область применения отдельных аппаратов с активными гидродинамическими режимами, дает возможность вполне обосновано выбрать тип аппарата для сушки данного материала и наметить пути интенсификации процесса [12].

Для определения принадлежности продукта к той или иной группе классификационной таблицы необходимо знание его сорбционно-структурных характеристик с учетом видов и энергий связи и адгезионно-когезионных свойств [13, 14].

В качестве основного параметра структуры выбран критический радиус пор, т.е. радиус наиболее тонких пор, удаление влаги из которых обеспечивает достижение требуемой по технологическим условиям процесса остаточной влажности материала [12].

Критический радиус пор является несколько условной характеристикой (как является условным в данном случае и сам термин «поры») и не учитывает конфигурацию пор, их расположение и соединение между собой, которые оказывают весьма существенное влияние на кинетику сушки [12, 13].

Таблица 1 – Классификация дисперсных материалов как объектов сушки [12].

Группа материала	Величина критического радиуса пор, А	Характеристика видов связи влаги с материалом и его структурой
Первая	Более 1000	Непористые и широкопористые материалы со свободной и слабосвязанной влагой
Вторая	От 1000 до 60	Высоковлажные материалы с переходными порами, со свободной и связанной влагой
Третья	От 60 до 40	Тонкопористые материалы со свободной связанной влагой
	От 40 до 20	Микропористые материалы со свободной и связанной влагой
Четвертая	От 20 диаметр частиц <1,0 мм	Дисперсные материалы со свободной и связанной влагой, содержащие ультрамикropоры, соизмеримые с размерами удаляемой жидкости
	От 20 диаметр частиц > 1,0 мм	Крупнодисперсные и гранулированные материалы, содержащие ультрамикropоры

Поликапроамид относится к IV группе классификационной таблицы дисперсных материалов. Материалы этой группы характеризуются наличием ультрамикropор и медленной сушкой, вследствие удаления прочносвязанной влаги [12, 13].

Представляют интерес исследования по интенсификации процесса, в частности, за счет перехода к сушке во взвешенных слоях, что позволит интенсифицировать процесс сушки ПКА за счёт повышения температуры материала с учетом требований к его качеству. Другим эффективным

способом сокращения времени сушки поликапроамида является уменьшение размеров его гранул [10].

**Список использованных источников:**

1. Процессы и аппараты текстильных технологий в примерах, лабораторных работах и тестах: учеб. пособие / М.К. Кошелева. - М.: ИНФРА-М, 2019. - 321 с. - (Высшее образование: Бакалавриат).
2. Лыков А.В. Тепломассообмен. – М.: Энергия, 1971.
3. Дорняк О.Р., Кошелева М.К. Математическая модель сушки тканых материалов / Тезисы докладов и сообщений: 15 Минский международный форум по тепло- и массообмену. - Минск, 2016. - С. 120-125.
4. Дорняк О.Р. Тепломассоперенос в ненасыщенных коллоидных капиллярно-пористых анизотропных материалах: Автореф. дис. д-ра техн. наук. - Воронеж, 2007.
5. Светлов Ю.В. Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности. – М.: Издательский центр академия, 2006. – 272 с.
6. Сажин Б.С., Федосов С.В., Кошелева М.К. Формирование научных направлений и отражение научных достижений в области повышения эффективности тепломассообменных процессов, экологической и производственной безопасности текстильных производств в разделе "Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика". Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4 (376). С. 116-122.
7. Бузов Б.А., Модестова Т.А., Алыменкова Н.Д. Материаловедение швейного производства: Учеб. для вузов, - 4-е изд., перераб и доп., - М., Легпромбытиздат, 1986 – 424.
8. Мальцева Е.П., Материаловедение швейного производства, - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
9. Калмыкова Е.А. Материаловедение швейного производства: Учеб. Пособие, - Мн.: Выш. шк., 2001- 412с.
10. Кошелева М.К. Исследование кинетики процесса сушки материалов, различающихся своей структурой. Дис. канд. техн. наук. М.: Московский текст инст. 1976. - 153 с.
11. Реутский В.А., Кошелева М.К., Марьясина О.Ю. О выборе технологического режима процесса сушки в многосекционных сушилках. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 1996. № 2. С. 115.
12. Сажин Б.С. Процессы сушки и промывки текстильных материалов [Текст] / Б.С. Сажин, М.К. Кошелева, М.Б. Сажина. – М.: МГУДТ, 2013. – 301 с.

13. Sazhin B.S., Sazhin V.B. Scientific Principles of Dpring Tecnology. N.Y.: Begell house, 2007.

14. Сажин Б.С. Гидродинамические и диффузионные процессы [Текст] / Б.С. Сажин, Л.И. Гудим, В.А. Реутский. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 200 с.

© Федорова А.П., 2022

УДК 677.016.673.3

## ВЫБОР УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА АППРЕТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СУКОН

Хазанов Г.И., Пименова О.Р., Судакова А.А.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

При аппретировании сукон для прессовой части бумагоделательных машин находят применение эпоксидные смолы [1]. Поэтому нами был осуществлен выбор условий аппретирования прессовых сукон, основанный на применении эпоксидной смолы Книтекс. Эксперимент проводился на образцах сукна марки ИКП-13, выпускаемых отечественной промышленностью [2].

На предприятии, производящем смолу Книтекс, предлагается проводить отделку раствором полимера при рН 7 и концентрациях каждого компонента 15-25 г/л, взятых в соотношении 1:1, с последующей сушкой и термообработкой при температуре 90-120<sup>0</sup>С.

Отечественные ТС отличаются от импортных по структуре; волокнистому составу; способу нанесения аппрета.

Их можно наносить на отделку во влажных и сухих условиях, что существенно влияет на концентрацию используемого отделочного препарата. С целью рационального использования смолы Книтекс диапазон изменения содержания каждого компонента ЕРХ и ЕРS в растворе был расширен и находился в диапазоне 5-25 г/л. Было учтено, что эффективность обработки в основном зависит от количества полимера, нанесенного на материал, температуры, рН пропиточного раствора и условий термообработки [1, 3].

К коагуляции приводит повышение температуры аппретирующего раствора выше 25<sup>0</sup>С.

В лабораторных условиях аппретирование проводили путем погружения сухой ткани в раствор полимера на 0,5-10 минут при рН 7 и температуре ≈20<sup>0</sup>С, с последующим отжимом до 100% остаточной влажности, сушкой в сочетании с термообработкой при ≈120<sup>0</sup>С (40 мин).

Количество наносимого полимера зависит от продолжительности погружения продукта в раствор. Поэтому были исследованы кинетические параметры процесса адсорбции эпоксидной смолы из водных растворов с различным содержанием ее компонентов.

Кинетические кривые отбора (рис. 1) смолы Кинтекс при концентрациях каждого из компонентов 5, 10, 20 и 25 г/л свидетельствуют о сорбции полимера текстильными материалами, для которых прирост массы составил 0,93-6,4%. При этом основная масса отделочного препарата (более 65%) выбирается за первые 2 минуты.

Для определения относительного удлинения при разрыве, прочности на разрыв и воздухопроницаемости использовали образцы с известным содержанием полимера, которое в соответствии с техническими условиями на ткань марки ИКП-13, соответственно, должно составлять: в продольном направлении (по утку) не более 29%, не менее 250 даН и 380 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> [1, 2, 4].

По мере увеличения количества наносимого полимера (рис. 2а) относительное удлинение при разрыве несколько уменьшается из-за образования склеек между волокнами в структуре технической ткани, которые затрудняют их перемещение относительно друг друга. В то же время наблюдается незначительное увеличение разрывной нагрузки (рис. 2б) с 315 даН для необработанного текстильного материала до 316-318 даН после повышения. Полученные значения превышают предельное условие (250 даН) для данного показателя. Увеличение прироста массы также приводит к некоторому снижению воздухопроницаемости [5] в результате засорения пор изделия смолой (рис. 3).

С учетом вышеуказанных ограничительных условий требуемые эксплуатационные свойства (рис. 2а, 3) достигаются при содержании полимера на ТМ 2,42-4,61%. Полученные результаты будут использованы при оптимизации процесса аппретирования сукон.

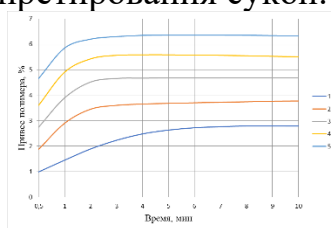


Рисунок 1 – Выбираемость смолы Кинтекс сукном при концентрациях ее водных растворов: 1) 5 г/л; 2) 10 г/л; 3) 15 г/л; 4) 20 г/л; 5) 25 г/л

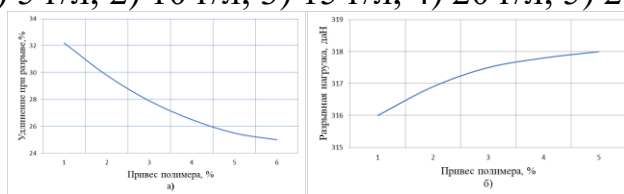


Рисунок 2 – Влияние привеса смолы Кинтекс на разрывные характеристики сукон: а) удлинение при разрыве; б) разрывную нагрузку

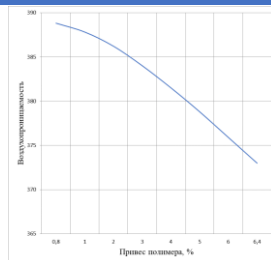


Рисунок 3 – Влияние привеса смолы Книтекс на воздухопроницаемость технического сукна

**Список использованных источников:**

1. Разработка рациональных технологических режимов процессов антимикробной отделки и аппретирования технических сукон: вкр/ борисов д.в. – москва: российский государственный университет им. А. Н. Косыгина, 2019 г.;
  2. ТУ 8353-001-00322318-99. Сукно техническое иглопробивное марки ИКП-13 - Взамен ТУ 17 РСФСР 59-9632-85. – 17 с.
  3. Хазанов Г.И., Курин В.И., Османов З.Н. Оптимизация процесса аппретирования прессовых сукон / Хазанов Г.И., Курин В.И., Османов З.Н. // Дизайн и технологии - 2014 - №41(83) - С 70-73.;
  4. Новорадовская Т.С., Садова С.Ф., Химия и химическая технология шерсти.- М.:Легпромбытиздат, 1986.- 200 с.;
  5. ГОСТ 12088-77. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости. – Введ. 01.01.79. – 8 с.;
- © Хазанов Г.И., Пименова О.Р., Судакова А.А., 2022

**УДК 502.3**

**МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Чикунова В.В., Стуженко Н.И.

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Донской государственный  
технический университет» в г. Шахты Ростовской области, Шахты*

Так как с каждым годом состояние окружающей среды ухудшается, вопросы в области её сохранения становятся всё более актуальными. Для решения данного вопроса проводится оценка современного состояния окружающей среды (ОССОС). Ее цель состоит в оценке воздействия негативных факторов на окружающую среду и подготовке информации для дальнейшего анализа и разработки мер, снижающих негативное влияние [1].

Задачами ОССОС являются создание карт объекта; анализ загрязнения окружающей среды; разработка рекомендаций; разработка

геоинформационной системы объекта; разработка характеристики окружающей среды.

От качества полученной информации зависит правильность принятых решений о дальнейших действиях на конкретном объекте. Также возможно произвести не только анализ состояния окружающей среды, но и оценить произошедшие негативные изменения на конкретной территории. Вся полученная информация поможет разработать план по минимизации негативных последствий.

Одной из возможностей ОССОС является мониторинг за состоянием земель по размещению полигонов с ТКО. Проблема загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами, остается актуальной и по сей день из-за нехватки мусороперерабатывающих заводов и из-за роста количества свалок. Информация об отходах поможет при дальнейшем строительстве жилых объектов, оценке окружающей среды, обнаружении несанкционированных свалок при проведении экологического контроля [2].

Хорошим способом получения информации при ОССОС служат методы дистанционного зондирования Земли. Эти методы позволяют получить информацию используя дистанционные технологии, что позволяет исследовать труднодоступные территории. Основную часть используемых методов при ОССОС занимают аэросъёмка и космические снимки [3].

Аэрофотосъёмка производится на высоте до нескольких десятков километров либо с использованием беспилотных летательных аппаратов, либо пилотируемыми, такими как, например, самолёт или вертолёт.

Аэрофотосъёмка производится во время полета, также снимки удобно соединять в дальнейшем. Недостатком является незначительное искажение снимков.

Для проведения аэрофотосъёмки подходят специализированные аэрофотоаппараты. Используя их, появляется возможность обойти сдвиг изображения и получить подходящее для дальнейшего анализа качество снимка. При применении специализированных устройств, при проведении съёмки необходимо придерживаться только горизонтального положения фотоаппарата. Чаще всего для аэрофотосъёмки используют легкие самолёты, оборудованные специальным люком и аппаратурой.

При использовании данного метода можно получить высокоинформативные снимки, с помощью которых можно в дальнейшем исследовать рельеф местности, а также проанализировать лесной покров местности, обнаружить несанкционированные свалки, очаги лесного пожара и различные техногенные нарушения. При дальнейшей обработке снимков, из них можно получить объёмные изображения, в дальнейшем по которым можно определить разницы высот рельефа и высоту лесного покрова. Информацию, полученную данным способом, благодаря ее



высокой точности, можно использовать при разработке карт и планов, но для актуальности информации необходимо повторять процедуру аэрофотосъёмки, что потребует материальных средств.

Иногда, при отсутствии возможности провести профессиональную съёмку местности, можно провести частную съёмку на фотоаппарат высокого разрешения с борта вертолётa. Этот метод хорошо подходит для проведения локальной съёмки на каком-то техногенном объекте или небольшой территории.

При частной съёмке с борта вертолётa желательно придерживаться одной высоты не более четырехсот метров и обеспечить горизонтальное положение камеры. Но в отличие от профессиональной съёмки данный метод обладает рядом недостатков и не подходит для большинства задач. Так как сложно обеспечить одну высоту на весь период съёмки и невозможно обеспечить строго горизонтальное положение камеры, данные снимки слабо подходят для определения масштаба или точных размеров, поэтому этот метод используют для объектов с уже ранее известными размерами.

Космическая съёмка происходит с использованием искусственных спутников Земли. Благодаря своим высоким возможностям данный метод чаще всего используют для изучения окружающей среды, картографирования и различного вида мониторинга [4]. У космических снимков разрешение от 1 м до 1 км; спектральный диапазон – оптический, инфракрасный, а также радиолокационный; количество спектральных диапазонов – одноканальный, мультиспектральный и гиперспектральный.

Скорость дешифрования, а также количество информации, которую можно получить со снимков о различных объектах напрямую зависит от выбранных параметров метода спутниковой съёмки.

В картографировании и геоинформационных системах основную роль играет именно космическая съёмка. Также для ОССОС космическая съёмка является важным источником любых данных. Благодаря своим обширным возможностям, данный метод съёмки может позволить получить снимок из любой труднодоступной и малоизученной точки на Земле. Данный метод позволяет вести наблюдение за очень большой территорией, которая значительно превышает территорию при аэрофотосъёмке. Но несмотря на все широкие возможности космической съёмки, важным недостатком можно считать необходимость дополнительной обработки полученных снимков с использованием сторонней информации, например картографические материалы.

Обработка полученных снимков в специализированных программах, последующее сопоставление контрольных точек снимка с контрольными точками на картах, позволяет с высокой точностью анализировать территории, оценивать экологическую ситуацию, следить за динамикой

различных процессов. Относительная простота получения информации данным методом, позволяет актуализировать информацию без особых затруднений. Информация, которую можно получить при дешифровании космических снимков приведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Возможности космических снимков

При дешифровании могут использоваться как автоматические методы с помощью специализированных программ, так и визуальные с помощью цвета, тона, формы и расположения исследуемого объекта. При анализе территории возможно использовать разные каналы изображения, это позволит возраст вырубки леса или места размещения отходов. Данные способы успешно используются во многих областях нашей страны. Также, благодаря широким возможностям методов космической съёмки, можно использовать полученные данные не только в экологических вопросах, но и при проектных вопросах, для выбора оптимального места расположения площадки.

Отрицательное воздействие различных факторов на состояние окружающей среды, в будущем негативно скажется на здоровье людей и состоянии экологии в целом. Данный вопрос нельзя оставлять без внимания, поэтому оценка экологического ущерба должна активно проводиться на всей территории страны.

Используя данные дистанционного зондирования, можно получить ответы на многие вопросы ОССОС. Но получение данных, геоинформационные технологии, дешифрование, обработка, все это имеет достаточно высокую стоимость. Самым экономически выгодным способом получения данных является использование беспилотного дрона. Но при этом возможности и качество полученных данных будет минимальным, что не подходит для некоторых задач.

Высокая стоимость проведения космической съёмки затрудняет использование её предприятиями, что снижает их борьбу с загрязнением окружающей среды.

Исправить эту ситуацию могло бы ведение открытой базы данных с информацией, которая могла бы помочь предприятиям при проведении экологического аудита. Это позволит избежать огромных трат и повысить эффективность сохранения окружающей среды.

#### **Список использованных источников:**

1. Барталев, С. А. Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова / С. А. Барталев,

Е. А. Лупян. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – № 1. – С. 197-214.

2. Днепровская, В. П. Комплексное исследование техногенной нагрузки с использованием спутниковых и наземных данных / В. П. Днепровская, И. Г. Яценко, Т. О. Перемитина. // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 4. – С. 134-142.

3. Новикова, О. Г. Возможности данных дистанционного зондирования Земли в сфере мониторинга экологических и гидрологических процессов / О. Г. Новикова. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 50-53.

4. Раклов, В. П. Методы использования ГИС-технологий при контроле состояния полигонов твердых бытовых отходов / В. П. Раклов. // Велес. – 2017. – № 2-1 (44). – С. 65-71.

© Чикунова В.В., Стуженко Н.И., 2022

УДК 614.842.43

## РЕАЛИЗАЦИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЭВАКУАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА РЕАЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

Широкопояс А.А.

Научный руководитель Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

В реальных условиях эксплуатации фотолюминесцентные эвакуационные системы (ФЭС) позволяют людям ориентироваться в окружающей обстановке в условиях чрезвычайных ситуаций и недостаточной видимости и действительно эффективны [1] согласно данным зарубежных источников и отдельных российских авторов [2].

В России, к сожалению, это относительно молодое, но актуальное направление инноваций в сфере обеспечения безопасности, в том числе мест массового нахождения людей [3].

Из чего вытекает множество вопросов, связанных с выбором материалов для создания данных систем, интеграции фотолюминесцентных систем в существующие объёмно – планировочные решения зданий и сооружений, выбор способов монтажа и крепления, а также вопросы полноты решения поставленных задач и выработки рекомендаций по оснащению ФЭС проектируемых объектов.

Материалы ФЭС также должны соответствовать требованиям технических условий, санитарно-гигиенических, противопожарных и

других норм, действующих на территории РФ и обеспечивать безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта [4, 5].

Для решения поставленных задач было принято решение найти социально-значимый объект, желательно объект торговли, к которому предъявляются повышенные требования по противопожарной защите и антитеррористической защищённости. Класс функциональной пожарной опасности таких объектов – Ф3.1. Также желательно, чтобы объект был большой площади, более 10000 м<sup>2</sup>.

Такие объекты характеризуются наличием большого количества эвакуационных выходов, большой протяжённостью путей эвакуации, большим количеством одновременно находящихся людей, наличием эвакуационных лестниц, большим количеством пожарного оборудования и средств противопожарной защиты, а также различными объёмно-планировочными решениями и различными вариантами отделочных решений и материалов отделки.

Для практической реализации ФЭС был выбран Торгово-пешеходный мост, расположенный в центре г. Москвы.

Общая площадь объекта – более 13000 м<sup>2</sup>. Этажность: 4 этажа, цокольный этаж [6].

Посещаемость объекта: в рабочий день до 6100 человек в день, в выходной день – до 6300.

Опасными местами, расположенными вдоль путей эвакуации являются строительные конструкции, инженерные системы, декоративные элементы, торговые павильоны, банкоматы, скамейки и прочее.

Объект получил проект рабочей документации ФЭС от 2021 года, которую необходимо смонтировать.

ФЭС представляет собой автономную, самостоятельную систему эвакуации, обеспечивающую уменьшение времени эвакуации и информирование о структуре путей эвакуации в целях организации управления движения людей по эвакуационным путям [1].

ФЭС включает в себя элементы, обозначающие [6]: пути эвакуации; эвакуационные двери и аварийные выходы; опасные места, расположенные вдоль путей эвакуации; места размещения средств противопожарной защиты, средств связи; объекты оперативного распознавания.

В местах размещения ФЭС предусмотрено общее или искусственное освещение.

Система состоит из целого ряда фотолюминесцентных элементов, включающих направляющие линии, предупреждающие знаки, знаки обозначения противопожарного оборудования, указатели направления.

При обычном освещении элементы ФЭС заметны благодаря контрасту с поверхностью подложки или по контрасту фотолюминесцентных границ материала с цветами безопасности [1].

Когда нет никакого внешнего освещения все элементы ФЭС заметны благодаря своим яркостным свойствам и характерному желтовато-зелёному фосфоресцирующему цвету [1].

На рис. 1 показаны смонтированные типовые варианты визуализации пожарной техники и коридора выбранного объекта.

Проведённые исследования показали, что при испускаемом ФЭС свете можно читать текст – книгу, видно расположенные рядом предметы и объекты, также при большой концентрации элементов ФЭС видны геометрические параметры помещения, очертания предметов, мебели, проёмов дверей.



Рисунок 1 – Типовой вариант визуализации пожарной техники и широкого коридора объекта – нижний уровень размещения ФЭС по обе стороны коридора

По истечении нормативных 1440 минут элементы ФЭС слабо наблюдаются и читаются. Однако их восприятие и смысловое значение трактуется наблюдателем однозначно.

Установлено, что фотолюминесцентные материалы эффективны для ориентации в темноте, для визуализации окружающей обстановки.

До монтажа ФЭС было проведено сопоставление спецификации проекта ФЭС и фактически необходимого объема материалов посредством проведения натурных измерений. Были осуществлены выезды на объект, проведены натурные измерения требуемого количества тех или иных элементов ФЭС посредством лазерного дальномера Leica disto, рулетки, линейки.

Проанализировав проектные данные и полученные данные натурных замеров, можно сделать следующие выводы:

количество (объём) элементов ФЭС значительно различается между проектными значениями и результатами натурных измерений;

разница между идентичными позициями таблиц наблюдается как в большую, так и в меньшую стороны.

Проанализировав ситуацию, можно предположить, что полученные данные натурных замеров ближе к истине по сравнению с проектными данными. Во-первых, замеры производились лазерной линейкой. Во-вторых, знаки высчитывались из проекта в соответствии с масштабом.

Однако, необходимо заметить, что были приняты определённые допущения. Например, ширина лестницы 1,4 м. В расчёт было заложено 1,5 м линейного материала ФЭС, т.к. стандартная полоса 1 м и, соответственно, образуется обрезок 0,1 м, который для монтажа уже не пригоден. То же

самое и с настенной направляющей полосой: расчёт завышен из-за подрезки. Двери, например, также 0,9 м в ширину и часть материала уйдёт в обрезки. Поэтому, когда рассчитывались объёмы, то сразу считался погонаж с учётом подрезки. Проектировщик мог не заложить, например, наклейку полосы напольной на напольное покрытие (ковёр) на Объекте №1, что является отступлением от правил пожарной безопасности. Также нужно добавить 10% к расчётному количеству каждой позиции на восстановление и ремонт по причине порчи, воровства, замены или иных событий. Проектировщик мог не посчитать материал за препятствиями, например, за игровыми автоматами, а это материал, который должен быть в резерве для немедленного восстановления целостности ФЭС, например, при удалении игровых автоматов.

Также при натуральных замерах выяснилось, что материалы основания для монтажа ФЭС различны: металлическая полоса, деревянный штакетник, стекло, ковролин, дерево, окрашенная штукатурка, напольная плитка плоская и с рельефом, пластиковый короб кабель-канала под электрические кабели, настенная кафельная плитка, фанера, окрашенный металл.

Соответственно, каждый отдельный случай монтажа на различные поверхности необходимо обговаривать с Заказчиком и производителем ФЭС, чтобы не нарушались принятые дизайнерские решения отделки помещений и соблюдалась надёжность крепления ФЭС и не терялась функциональность ФЭС.

Проведён анализ различных технологий возможного нанесения ФЭС с учётом конструктивных особенностей объекта, имеющегося проекта ФЭС и нормативных требований. Подготовлено предложение с перечнем элементов ФЭС для выбранного объекта из каталожных позиций, представленных на рынке.

В ходе работы на реальном объекте выработаны практические рекомендации по внедрению ФЭС:

1. При проектировании ФЭС необходимо учитывать материалы поверхностей для монтажа ФЭС.

2. При проектировании ФЭС и дальнейшем их монтаже необходимо согласовывать с Заказчиком точное размещение элемента ФЭС в интерьере существующего помещения.

3. При проектировании ФЭС необходимо закладывать расход на подрезку длинномерных материалов ФЭС: лент, полос.

4. При проектировании ФЭС рекомендуется добавить 10% к расчётному значению каждой позиции ФЭС на восстановление и ремонт в целях обеспечения штатного функционирования ФЭС. Стоит заметить, что по правилам проектирования ФЭС разрывы в протяжённых элементах ФЭС (настенных, напольных) не должны превышать 0,2 метра [1].

5. Проектирование ФЭС рекомендуется начинать на этапе проектирования объекта, до проектных работ по дизайну интерьера. Проект ФЭС должен являться исходным техническим заданием для проектных работ по дизайну интерьера.

6. Монтаж элементов ФЭС необходимо проводить до декоративной (дизайнерской) отделки помещений.

7. Дизайнерские решения в отделке помещений должны учитывать ФЭС и брать их в расчёт (места размещения, надёжность монтажа, свободный доступ, требуемая засветка, функциональность и прочее).

Подтверждено, что фотолюминесцентные эвакуационные системы объектов различного назначения позволяют людям ориентироваться в окружающей обстановке в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) и недостаточной видимости. ФЭС повышают безопасность людей, служат сохранению их жизни и здоровья. ФЭС действительно эффективны, что подтверждено проведёнными исследованиями и испытаниями в реальных условиях эксплуатации. Положительным фактом является существование законодательных рекомендаций и норм по оснащению различных объектов ФЭС [7-11].

Необходимо отметить отсутствие российских производителей ФЭС, законодательную зарегулированность (необходимость иметь лицензию на монтаж ФЭС), что в совокупности тормозит внедрение ФЭС на различных реальных объектах экономики.

#### **Список использованных источников:**

1. ГОСТ Р 12.2.143-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы фотолюминесцентные эвакуационные. Требования и методы контроля (с Изменением N 1) – Введ. 01.07.2010. - // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

2. Все о фотолюминесцентной эвакуационной системе: статья [Электронный ресурс], ООО "Производственная компания Владлена", 2022, – Режим доступа: <https://www.jessup.ru/fotoluminiscentnaya-evakuacionnaya-sistema/o-fes/>

3. Доклады с обобщением и анализом правоприменительной практики, типовых и массовых нарушений обязательных требований: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. (утв. МЧС России 17.04.2020). Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации [Электронный ресурс], – Режим доступа: [https://legalacts.ru/doc/doklady-s-obobshcheniem-i-analizom-pravoprimeritelnoi-praktiki-tipovykh-i\\_1/](https://legalacts.ru/doc/doklady-s-obobshcheniem-i-analizom-pravoprimeritelnoi-praktiki-tipovykh-i_1/)

4. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной

безопасности: СП 3.13130.2009 : утв. МЧС России 25.03.2009 : ввод. в действие с 01.05.2009 - // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

5. ГОСТ 12.4.026-2015. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. Введ. 01.03.2017- // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

6. РД-219/21-ФЭС «Рабочая документация. Фотолюминесцентная эвакуационная система», ИП Майорчиков А.С., 2021г.

7. Здания и сооружения. Общие положения проектирования с учетом доступности для маломобильных групп населения (с Изменением N 1): СП 136.13330.2012 : утв. Госстроем России 27.12.2012 : ввод. в действие с 01.07.2013 - // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

8. Городские автотранспортные тоннели и путепроводы тоннельного типа с длиной перекрытой части не более 300 м. Требования пожарной безопасности: СП 166.1311500.2014 : утв. МЧС России 08.12.2014 : ввод. в действие с 15.12.2014 - // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

9. Встроенные подземные автостоянки. Требования пожарной безопасности: СП 154.13130.2013 : утв. МЧС России 21.02.2013 : ввод. в действие с 21.02.2013 - // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

10. Объекты культурного наследия религиозного назначения. Требования пожарной безопасности: СП 388.1311500.2018 : утв. МЧС России 13.08.2018: ввод. в действие с 14.01.2019 - // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2022.

11. Методические рекомендации. Общие требования пожарной безопасности к помещениям парикмахерских : утв. МЧС России, 2018 г. [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/metodicheskie-materialy/okazanie-konsultativnoy-metodicheskoy-i-informacionnoy-pomoshchi-organam-mestnogo-samoupravleniya/obshchie-trebovaniya-pozharnoy-bezopasnosti-k-pomeshcheniyam-parikmaherskih>

12. Информационно-правовой портал: [сайт]. – Режим доступа: URL: <https://www.garant.ru/>

© Широкопояс А.А., 2022



УДК 66.021.3

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛОПКОВОЙ ВАТЫ

Широкопояс Е.Н., Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

Дорняк О.Р.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж*

Целью работы является анализ ресурсосберегающего способа повышения эффективности процесса экстрагирования в производстве медицинской гигроскопической хлопковой ваты и его безопасности. Переработка волокнистого материала в медицинскую гигроскопическую вату связана с применением процессов механической и химической технологии, применяемых для улучшения качественных показателей хлопка, регламентированных ГОСТ 5556-81. Для медицинской гигроскопической ваты большое значение имеет показатель капиллярности, от которого зависит степень поглощения различных выделений [1].

В табл. 1 приведены требования, предъявляемые к капиллярности в соответствии с ГОСТ 5556-81. Изучаемый процесс экстрагирования (отварки) проводится в аппаратах периодического действия с применением гидроксида натрия и других химических реагентов, отличается высокой продолжительностью и энергоресурсоёмкостью [1, 2], следовательно, необходимо разрабатывать и внедрять в производство высокоэффективные и экологически безопасные технологии [3].

Таблица 1 – Капиллярность хлопковой ваты для различных артикулов в соответствии с ГОСТ 5556-81

Качественный показатель	Вата		
	Глазная	Хирургическая	Гигиеническая
Капиллярность, мм	70,0	65,0	60,0

Использование ультразвукового воздействия (УЗВ) на массообменные процессы химической технологии отделки является одним из наиболее эффективных для сбережения электроэнергии и химических реагентов при проведении массообменных процессов в условиях внутренней или смешанной задачи массообмена [1-5].

Применение обоснованно выбранных способов интенсификации [3], в том числе физических полей, является эффективным для многих процессов.

На рис.1 представлены результаты исследования влияния продолжительности процесса на капиллярность хлопка, при экстрагировании с УЗВ и без интенсификации при заданном технологическом режиме.



Рисунок1 – Результаты исследования влияния на капиллярность продолжительности процесса отварки с УЗВ и без интенсификации

Анализ результатов показывает возможность сокращения продолжительности процесса отварки при использовании УЗВ. Возможно снижение концентрации гидроксида натрия с 10 г/л до 2 г/л, при этом концентрация ТВВ (смачивателя ЭМ-31) может составлять 0,5 г/л при исключении таких ТВВ как гинтол и фиолент.

Это позволит в целом снизить негативное действие опасных и вредных производственных факторов и повысить экологическую безопасность, в том числе вредное воздействие производственных факторов на работников цеха, уменьшая вероятность профессиональных заболеваний.

Ориентировочная оценка экономической эффективности реализации ультразвукового воздействия в промышленных условиях на действующем оборудовании показывает возможность получения экономического эффекта. Снижение концентрации NaOH в растворе в 5 раз, позволяет сократить закупки щёлочи. Экономия денежных средств составит более 550 тысяч рублей в год (при объёмах производства ваты 960 тонн в год и текущих ценах). Снижение концентрации щелочи в сточных водах позволит уменьшить плату за негативное воздействие на окружающую среду по гидроксиду натрия более чем в 50 раз.

Следовательно, при ультразвуковой интенсификации возможно снижение концентрации гидроксида натрия в варочном растворе примерно в 5 раз при одновременном снижении концентрации текстильно-вспомогательных веществ, возможно сокращение расхода чистой воды, а также объема и степени загрязненности сточных вод. Возможна модернизация имеющегося оборудования путем внедрения ультразвукового интенсификатора, затраты на интенсификатор окупятся примерно за 15 месяцев.

#### Список использованных источников:

1. Kosheleva M. K. Improving the efficiency of the extraction process in production of hygroscopic fibrous materials / Kosheleva M. K., Dornyak O. R., Shirokopoyas E. N., Bulletin of the Tambov State Technical University. 2022, том. 27. № 1. с. 254-261.

2. Кошелева М.К., Дорняк О.Р. Ресурсосберегающие технологические режимы экстракции в химической технологии отделки волокнистых материалов. // В книге: Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности. VIII Международная

конференция Российского химического общества имени Д. И. Менделеева. тезисы докладов. - М. - 2017. - С. 47-48.

3. Гуляев Ю.В., Аналитический обзор материалов Симпозиума "Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии" МНТФ "Первые международные Косыгинские чтения "Современные задачи инженерных наук". Теоретические основы химической технологии. / Ю.В. Гуляев, В.С. Белгородский, М.К. Кошелева // Теоретические основы химической технологии – Ин-т общей и неорг. хим. им. Н.С. Курнакова РАН. - М.: 2018. - Т. 52. № 3. - С. 361-364.

4. Рудобашта С.П., Математическое моделирование экстрагирования целевого компонента из тел цилиндрической формы в полу непрерывном процессе / С.П. Рудобашта, М. К. Кошелева, Э. М. Карташов // Инженерно-физический журнал. - 2017. - Т. 90, № 4. - С. 841-849.

5. Широкопояс Е.Н., Кошелева М.К., Дорняк О.Р. Повышение эффективности процесса отварки волокнистых материалов Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 5. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. – с. 259-261

© Широкопояс Е.Н., Кошелева М.К., Дорняк О.Р., 2022

УДК 661.87

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУШКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Юдин Д.Р.

Научный руководитель Кошелева М.К.

*Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва*

По затратам рабочего времени, размерам занимаемых площадей, количеству потребляемой энергии сушка является самым энерго ресурсоёмким процессом на многих предприятиях. Обоснованный выбор эффективного способа повышения интенсивности процесса сушки волокнистых материалов, приводящего к снижению энергозатрат и техногенного воздействия процесса на окружающую среду и в рабочей зоне является актуальным. Целью работы является предварительный сравнительный анализ способов интенсификации процесса сушки волокнистых материалов с учётом задачи массообмена.

Сушка многих материалов во многом определяется гидродинамической обстановкой в сушильных аппаратах. При оптимальном применении гидродинамические режимы сочетают

интенсивность с экономичностью и высоким качеством конечного продукта. Не существует заведомо активных гидродинамических режимов (АГР), так как высокий уровень относительных скоростей взаимодействующих фаз не обеспечивает его высокую эффективность, если гидродинамический режим не соответствует технологической задаче сушки данного материала. Поэтому суть АГР не в интенсивности, а в эффективности процесса с учетом не только самого сушильного аппарата, но и всей сушильной установки в целом [1-3].

Фактором, определяющим кинетику сушки, является диффузионное сопротивление, которое зависит от распределения пор в материале по размерам. Важным показателем в классификации объектов сушки является критический диаметр пор [1-4]. Это поры с наименьшим размером, из которых по технологическим условиям надо удалять влагу [4, 5]. Критический диаметр пор отражает максимальное диффузионное сопротивление в процессе сушки данного материала [1-4]. Для каждого класса классификационной таблицы выбираются типовые материалы, проводится их подробный анализ как объектов сушки, и определяются скорости удаления влаги из всех групп пор. Классификация дисперсных материалов как объектов сушки делится на шесть классов по размеру критического диаметра пор [4]. Первый класс – это непористые материалы со свободной влагой и критическим диаметром больше 100 нанометров. Второму классу соответствуют широкопористые материалы со слабо связанной влагой и критическим диаметром пор от 10 до 100 нанометров. Высоковлажные материалы с переходными порами со свободной и связанной влагой соответствуют третьему классу с критическим диаметром пор от 6 до 8 нанометров. Тонкие поры со свободной и связанной влагой с диаметром от 4 до 6 нанометров относятся к четвертому классу. Дисперсные материалы пятого класса – это микропоры со связанной влагой и критическим диаметром от 2 до 4 нанометров. Последнему классу соответствуют материалы с критическим диаметром меньше 2 нанометров и называются ультрамикропоры соизмеримые с размерами молекул [1-4].

Важным способом интенсификации процесса сушки является увеличение температуры потока теплоносителя. Значительная разница температур между материалом и теплоносителем способствует более интенсивной сушке, но надо учитывать действие высокой температуры на материал и расход энергии. Сушка в вакууме тоже можно рассматривать как один из способов интенсификации. Понижение давления резко увеличивает интенсивность испарения за счет повышения коэффициента массообмена [7].

На рис. 1 показана кинетика сушки сукна с интенсификацией ИК излучением и без него [8].



Рисунок 1 – Кривые кинетики сушки сукна с интенсификацией ИК излучением и без него.

При помощи инфракрасных лучей можно передать большее количество тепла материалу и повысить скорость испарения влаги, чем при конвективной сушке [8]. Сушка высокочастотными токами значительно интенсифицирует процесс сушки. Материал между пластинами конденсатора находится под действием электрического поля. Молекулы начинают быстро колебаться и тереться друг о друга. Выделяется тепло, которое нагревает материал. Проводятся работы по изучению процесса сушки тканей с применением для интенсификации процесса ультразвукового излучения [11]. Для разработки рекомендаций по обоснованному выбору способа интенсификации процесса сушки различных волокнистых материалов, нужен анализ способов интенсификации [1-10], включая безопасность и экономичность.

#### **Список использованных источников:**

1. Сажин, В.Б. Научные основы стратегии выбора эффективного сушильного оборудования / В.Б. Сажин, Б.С. Сажин. = М.: Химия, 2013, 544 с., ил.
2. Сажин, В.Б. Анализ основных подходов к классификации материалов как объектов сушки / В.Б. Сажин, М.Б. Сажина, Б.С. Сажин // Известия вузов: Химия и хим. технология, Том 48. - №5. - 2005. - С. 99-104.
3. Сажин В.Б. Научные основы техники сушки дисперсных материалов при эффективных гидродинамических режимах взвешенного слоя. Дисс... доктора технич. наук. М., РХТУ, 2000. - Т. 1 – 617 с. – Т. 2. – 203 с.
4. Сажин В. Б., Сажин Б. С. Комплексная стратегия выбора рационального аппаратурно-технологического обеспечения процесса сушки // Международный научный журнал "Интернаука". - 2018. - №20.
5. Щукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2004. – 445 с.
6. Одинцова, О.И. Основы текстильного материаловедения: учебное пособие. Текст лекций/ О.И. Одинцова, М.Н. Кротова, С.В. Смирнова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2008.-63с.
7. А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. Учебно-справочное пособие. – М.: «Теплотехник», 2011. – 335 с.
8. Jeff Walker (2017) Infrared Technology Improves Finishing Processes, Process Heating

9. Ayyoub M. Momen, Viral K. Patel, Kyle R. Gluesenkamp, Donald Erdman III, James Kiggans Jr & Geoffrey Ormston (2021) Fabric properties and electric efficiency limits of mechanical moisture extraction from fabrics, *Drying Technology*, DOI: 10.1080/07373937.2021.2005620

10. Кошелева М. К. Процессы и аппараты текстильных технологий в примерах, лабораторных работах и тестах : учебное пособие / М. К. Кошелева. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 321 с. – (Высшее образование: Бакалавриат).

11. Хмелёв В.Н., Кошелева М.К., Доровских Р.С., Голых Р.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Новикова Т.А. Ультразвуковая сушка текстильных материалов// Журнал «Химическая технология», 2017, С. 283-289.

© Юдин Д.Р., 2022

## Авторский указатель

---

### А

Абакумов М.В. · 177  
Абрамин В.Ю. · 105  
Абунаева Л.З. · 117  
Андрянова Д.В. · 150  
Аношина А.В. · 101  
Антипов А.Е. · 117  
Антропов Д.В. · 166

---

### Б

Белоусов А.С. · 105, 109  
Беляков А.А. · 4  
Бирюкова А.А. · 101  
Бойчук И.И. · 9  
Болабко А.А. · 14  
Бондарева А.В. · 113  
Бородин Е.С. · 33  
Бутенко А.А. · 17

---

### В

Вераксо Д.Э. · 117  
Вершинина И.В. · 22  
Виниченко С.Н. · 14  
Виргуш А.В. · 22  
Власенко О.М. · 9, 66  
Власов И.Н. · 120  
Власов С.Л. · 25

---

### Г

Гаус М.С. · 71  
Гаффанова А.Р. · 30  
Гвоздкова И.А. · 113  
Гребнева Ю.С. · 22  
Гришан У.И. · 123  
Гужавина Е.Н. · 33  
Гуторова Н.В. · 125

---

### Д

Дормидонтова О.В. · 129  
Дорняк О.Р. · 209  
Дорохов Д.В. · 38, 41

---

### Е

Евтеева Н.Г. · 129  
Еремочкин С.Ю. · 38, 41

---

### Ж

Жмакин Л.И. · 188

---

### З

Загараева А.А. · 133  
Зайцев Д.А. · 87  
Запорожан Д.Ю. · 44  
Захаркина С.В. · 25, 49, 77, 79  
Захаров О.В. · 97  
Зорина Т.Г. · 161

---

### И

Иванов М.С. · 59  
Иванцова Н.А. · 150  
Исаев М.В. · 136  
Исаев М.К. · 177  
Ищенко А.О. · 113

---

### К

Кагин Р.А. · 49  
Казанцева А.М. · 52  
Казначеева А.А. · 55  
Калачев Н.М. · 55  
Калачева Ю.Ю. · 140  
Канатов А.В. · 44, 82, 87  
Карев А.Н. · 145  
Карпухина Е.В. · 147  
Коваль К.А. · 150  
Коверженко М.Д. · 153  
Колесников А.В. · 177  
Кошелева М.К. · 209  
Кузнецова А.О. · 185  
Куликов Д.С. · 157  
Кульчак В.В. · 59

---

### Л

Лаврентьев О.М. · 62

Лю Сюэяо · 161

---

**М**

Масанов Д.В. · 77, 79, 93  
Мелихов И.В. · 166  
Мифтахов А.Р. · 181

---

**Н**

Нгимби И.Г. · 169  
Никитенок С.А. · 22  
Новиков И.Е. · 173  
Нурсахедов М.М. · 59  
Ньеин Ч.М. · 177

---

**О**

Овсянников Д.А. · 105, 109  
Окорочкова О.А. · 66  
Отрубянных Е.В. · 33  
Отт А.А. · 71

---

**П**

Пименова О.Р. · 197  
Полифтова А.П. · 157, 169  
Поляков А.Е. · 59  
Поляков Р.И. · 74

---

**Р**

Рахматуллин С.С. · 181  
Рыжкова Е.А. · 52  
Рябова Т.А. · 147

---

**С**

Савина Л.Ю. · 77, 79  
Самосюк Н.А. · 123  
Седяров О.И. · 101, 157, 169  
Синицына Е.И. · 74  
Скобова Н.В. · 185

Соловьев П.Р. · 77, 79  
Сопощко Д.Д. · 17  
Сорокин А.Н. · 188  
Стуженко Н.И. · 199  
Судакова А.А. · 197

---

**Т**

Телушкин И.С. · 120  
Терехова М.В. · 33  
Тюрин М.П. · 145

---

**Ф**

Федоров Э.В. · 82  
Федорова А.А. · 193  
Федосеев А.М. · 82  
Федькин Н.С. · 87  
Фрасын П.Г. · 93  
Фролов А.В. · 101

---

**Х**

Хазанов Г.И. · 197  
Хмелева О.Ю. · 125

---

**Ч**

Черных Ю.А. · 95  
Чикунова В.В. · 199  
Чурсин В.И. · 129, 173

---

**Ш**

Шарпар Н.М. · 120, 153, 188  
Ширинина П.Ю. · 97  
Широкопояс А.А. · 203  
Широкопояс Е.Н. · 209

---

**Ю**

Юдин Д.Р. · 211



## **Научное издание**

Всероссийская научная конференция молодых исследователей  
с международным участием  
«Инновационное развитие техники и технологий в  
промышленности (ИНТЕКС-2022)»

### **Часть 4**

#### **В авторской редакции**

Издательство не несет ответственности за опубликованные материалы.  
Все материалы отображают персональную позицию авторов.  
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Подписано в печать    Формат бумаги 60x84/16  
Усл.печ.л. \_\_\_\_ Тираж 30 экз.    Заказ №93-Нц/22

Редакционно-издательский отдел РГУ им. А.Н. Косыгина  
115035, Москва, ул. Садовническая, 33, стр.1  
тел./ факс: (495) 955-35-88  
e-mail: riomgudt@mail.ru  
Отпечатано в РИО РГУ им. А.Н. Косыгина