Правительство Тульской области · Высшая техническая школа · Октава · НОЦ ТУЛАТЕХ · Омский государственный технический университет · Державинский · Ассоциация 3D образования

Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых

ЛИДЕРЫ 3D-TECH

6-7 февраля 2023

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВЫСШАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ШКОЛА»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Р. ДЕРЖАВИНА»

АССОЦИАЦИЯ «ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ В СФЕРЕ 3D ОБРАЗОВАНИЯ»

ЛИДЕРЫ 3D-ТЕСН

Материалы Всероссийской
научно-практической конференции
молодых ученых
(06–07 февраля 2023 г.)

Тула
2023

УДК 001.895
ББК 72.5(2)
Л55

Ответственный за выпуск:
Алгазин Д.Н., канд. техн. наук,
ректор АНО ДПО «Высшая техническая школа»

Л55 **Лидеры 3D-Tech:** материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых – Тула: Изд-во АНО ДПО «Высшая техническая школа», 2023. – 94 с.: ил. – 1 электрон, опт. диск (CD-ROM). – Систем.требования: ПК с процессором 1,3 ГГц или более высокий; 1 ГБ доступного места на жестком диске; 512 МБ оперативной памяти (рекомендуется 1 ГБ или больше); Microsoft Windows® XP Home, Professional или выше; Разрешение экрана 1024*768 ; Acrobat Reader 3.0. или выше; CD-ROM дисковод; клавиатура; мышь. - Загл. с титул.экрана. – Текст : электронный.

ISSN 978-5-6049447-0-7

В сборнике материалов представлены результаты современных исследований в разных областях научного знания теоретического и практического характера, актуализированные системными изменениями современной действительности.

Материалы конференции могут быть полезными преподавателям, студентам, аспирантам и всем интересующимся современными направлениями научных исследований.

Редколлегия полностью сохранила авторские позиции и стилистические особенности публикаций.

Текстовое электронное издание

Самостоятельное электронное издание

Минимальные системные требования:

- процессор с частотой 1,3 ГГц или более высокой;
- 1 ГБ доступного места на жестком диске;
- 512 МБ оперативной памяти (рекомендуется 1 ГБ или больше);
- Microsoft Windows® XP Home, Professional или выше;
- разрешение экрана 1024*768;
- Acrobat Reader 3.0. или выше;
- CD-ROM, клавиатура, мышь.

УДК 001.895
ББК 72.4(2)

© АНО ДПО «Высшая техническая школа», 2023
© ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», 2023
© ОмГТУ, 2023
© Ассоциация «Внедрения инноваций в сфере 3D образования», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Мусаев Ю.И., Мусаева Э.Б., Кожемова К.Р., Санакоева М.О.	Влияние концентрации модификаторов на физико-механические характеристики полимерного композита	5
Протопопов Е.А., Женаева Е.Е., Алтунин А.В.	Использование химического состава для повышения работоспособности металла трубопроводных систем.....	12
Щукина И.А., Дедов Н.А., Ильина Т.А., Костылева Е.И., Новиков А.Н.	Гидрофобизация древесины олигоалкилгидридсилоксанами....	17

НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Доманский А.Р.	Цифровой 3D-двойник шлицешлифовального станка для целей вибродиагностики состояния упругой системы	22
Корбанов В.Д.	Сравнение способов изготовления сложнопрофильных отливок с использованием аддитивных технологий	27
Протопопов Е.А., Женаева Е.Е., Алтунин А.В.	Оценка отделимости шлаковой корки при дуговой сварке.....	35
Самсонов В.А.	Вибродиагностика фрезерного станка с ЧПУ	38
Шлаев К.И.	Динамические характеристики угловой фрезерной головки в программных средах 3D моделирования	43

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Леонова Т.И.	Гликолипидные биосурфактанты, продуцируемые бактериями рода Rhodococcus: потенциал их применения	49
Лепикаш Р.В., Захаров Н.С.	Модель растительного микробного топливного элемента для генерации электроэнергии и очистки сточных вод.....	54
Прокудина О.В., Песцов Г.В., Третьякова А.В.	Изучение белково-липидного состава личинок насекомого черная львинка.....	60

Третьякова А.В., Песцов Г.В., Прокудина О.В.	Использование зоогумуса в грибоводстве	67

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В РАЗРАБОТКЕ, ПРИМЕНЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БПЛА

Долженко А.В.	Совершенствование технологий эффективного управления жизненным циклом эксплуатируемого объекта недвижимости аппаратно-программными комплексами автоматизированной нейросетевой дефектоскопии	71
Кокорев А.Р., Киреев А.А., Николашин В.П.	Виртуальный симулятор «Dronefly» как инструмент развития жестких компетенций в сфере применения БПЛА	77
Петропавловский О.И., Шалынков С.А., Морозов В.В.	Определение тяги двигателя.....	80
Шалынков С.А., Петропавловский О.И., Морозов В.В.	Стенд для определения значений тяги электродвигателя и воздушного винта.....	85
Сведения об авторах	.....	90

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

УДК 678, 54.03

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МОДИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА

Мусаев Ю.И.[1], Мусаева Э.Б.[1], Кожемова К.Р.[1], Санакоева М.О.[2]

1) Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

2) Юго-Осетинский Государственный Университет им. А.А. Тибилова

E-mail: maradonna.kbr@mail.ru

INFLUENCE OF THE MODIFIERS CONCENTRATION ON THE PHYSICOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE POLYMER COMPOSITE

Musaev Yu.I.[1], Musaeva E.B.[1], Kozhemova K.R.[1], Sanakoeva M.O.[2]

1) Kabardino-Balkarian State University

2) South-Ossetian State University

E-mail: maradonna.kbr@mail.ru

Аннотация. Получены композиционные материалы на основе полибутилентерефталата, поликарбоната и гетерофункциональных сополимеров в качестве модификаторов. Установлено, что введение блоксополиэфирпирролов улучшает физико-механические характеристики полимерных композитов.

Ключевые слова: модификатор, полибутилентерефталат, сополимер, композит, блоксоплиэфирпиррол, поликонденсация, полимерная матрица.

Abstract. Composite materials based on polybutylene terephthalate and polycarbonate and heterofunctional copolymers were obtained as a modifier. It has been found that the introduction of blocksopolyetherpyrroles advances the physico-mechanical characteristics of polymeric materials.

Keywords: modifier, polybutylene terephthalate, copolymer, composite, blocksopolyether-

pyrrole, polycondensation, polymer matrix.

Введение

Разработка способов получения новых полимерных материалов является одним из приоритетных направлений научно-технического и инновационного развития промышленности, на сегодняшний день. Темпы производства конструкционных полимеров усиленно возрастают. Однако существует ряд проблем, связанных с производством новых полимерных материалов. Все сводится к области применения разрабатываемого продукта и ожидаемых результатов эксплуатации. Создание композиционных материалов, обладающих улучшенным спектром эксплуатационных физико-механических свойств напрямую зависит от выбора различных органических модификаторов, применения углеродных волокон и наночастиц, введения природно-минеральных компонентов [1, 2].

Как правило, свойства получаемых полимеров могут быть спрогнозированы выбором исходных мономеров. В наши дни существует тенденция роста производства полимерных материалов в виде смесей с новым сочетанием необходимых свойств, где в качестве основы используют промышленные марки полимеров с различными добавками [3].

Цель работы – разработка модификатора, способствующего стабилизации полимера в условиях повышенных термических нагрузок.

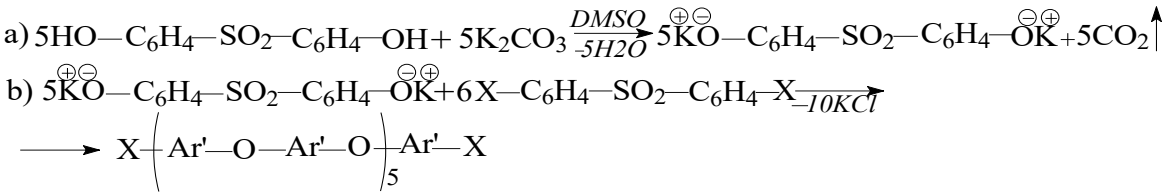
Экспериментальная часть

Реакциями полигетероциклизации и поликонденсации были получены ароматические блоксополиэфирпирролы с учетом особенностей и закономерностей реакций нуклеофильного замещения S_N2 и S_N2_{Ar} (схема 1). Синтез включал в себя несколько стадий: получение дигалогенсодержащего блока с n = 5 на основе 4,4'-дигидроксидифенилсульфона и 4,4'-дихлордифенилсульфона (4,4'-дифтордифенилсульфона); синтез дипирролароматического дикетоксиматдианиона с n = 5 на основе дикетоксима 4,4'-диацетилдифенилоксида; синтез блоксополимера (ПФЭСПО). Была исследована возможность их применения в виде модифицирующих добавок с целью усовершенствования физико-

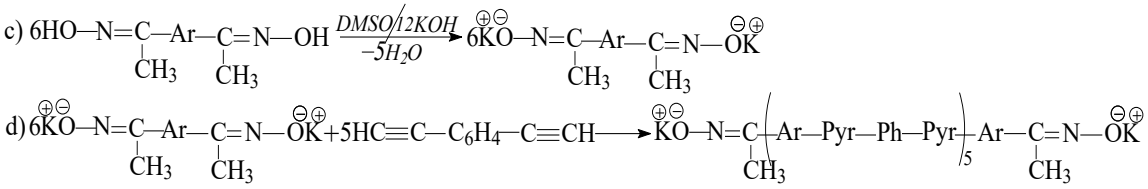
механических и других эксплуатационных характеристик. В качестве матрицы композиций использован промышленный полибутилентерефталат (ПБТФ) марки D-201 и поликарбонат (ПК) Carbomix 6.

Схема синтеза модификатора ПФЭСПО

1 стадия



2 стадия



3 стадия

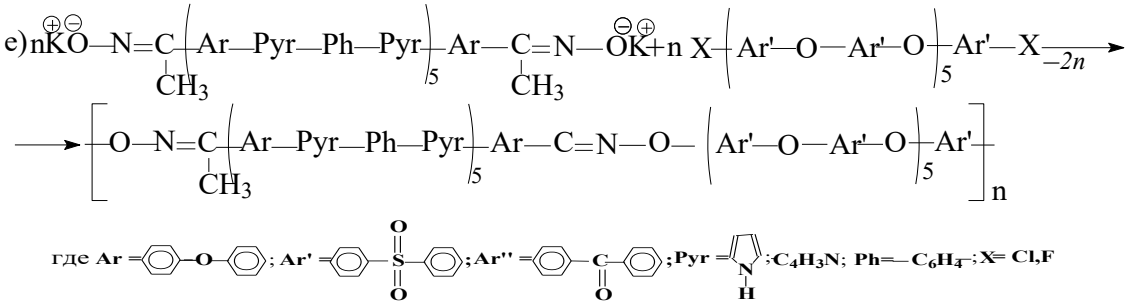


Схема 1

Анализ данных проведенных исследований позволил обнаружить положительные факторы, наблюдаемые при использовании блоксополиэфирпирролов в качестве модифицирующих добавок в композиции с полибутилентерефталатом.

На рисунке 1 представлены данные термогравиметрического анализа ПБТФ-D-201 промышленного (1), композиций полибутилентерефталата, содержащего 0,5% ПФЭСПО (полиэфирсульфонпирролоксимат) (2) и 0,5% ПФЭКСПО (полиэфирсульфонкетонпирролоксимат) (3). Начало разложения модифицированного полибутилентерефталата при температуре выше температуры разложения исходного – в интервале 400-450°С со скоростью – 10 %/мин, однако исходный полимер полностью сгорел при температуре 505°С, в то вре-

мя как модифицированные образцы при такой же температуре имели в массе 10%. Область интенсивной потери массы образца чистого ПБТФ лежит интервале 390-400 ºС, тогда как для образцов с добавками сополимеров порог интенсивной потери массы приходится на 410-415 ºС, а коксовый остаток составляет 10% при температуре 450 ºС для образца ПБТФ/0,5 % ПФЭКСПО. С увеличением температуры скорость разложения снижается, и происходит структурирование полимера с сохранением массы композита. Так, при температурах 450-650°С модифицированный полимер не разлагается полностью и содержит 5-10% от начальной массы. Этот факт позволяет использовать данные композиции в условиях повышенных термических нагрузок.

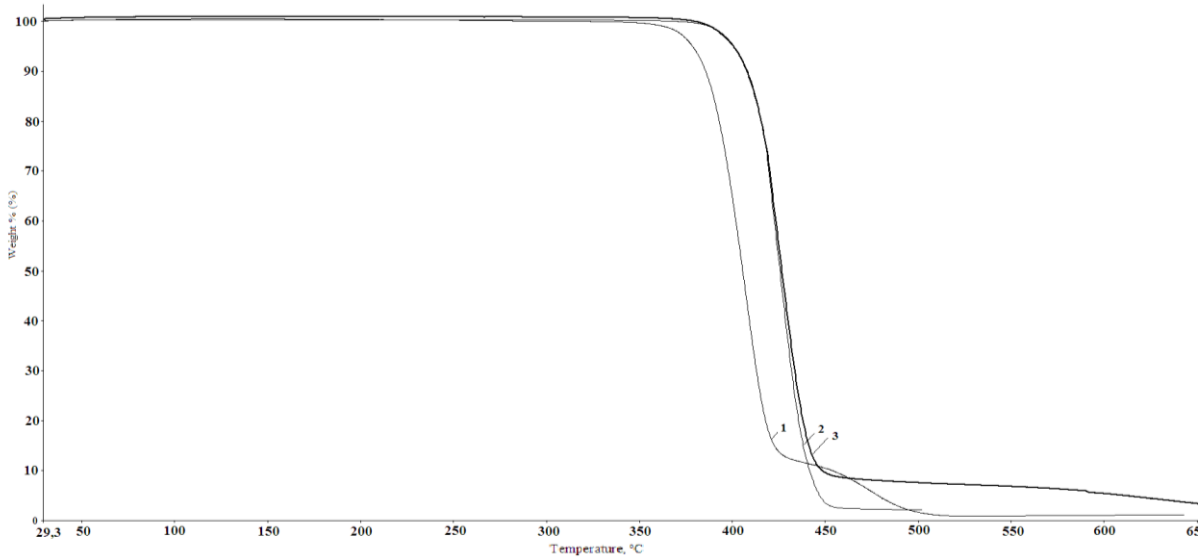


Рис. 1. Кривые ТГ: 1– образец промышленного ПБТФ D-201, 2– композиции ПБТФ/ 0,5% ПФЭСПО, 3– ПБТФ/ 0,5% ПФЭКСПО

Для определения оптимальных условий эксплуатации и переработки композитных материалов, температуры расплава и давления формирования важным показателем является показатель текучести расплава, который позволяет выбрать соответствующий метод и режим переработки. Как показывают результаты проведенных исследований, значения показателя текучести расплава увеличивается с увеличением содержания модификатора вплоть до 1,0 масс. % у композитов на основе ПК и ПФЭСПО.

Таблица 1

Изменение показателя текучести расплава композиций на основе ПБТФ и ПК в зависимости от модификатора и его концентрации

Состав композита	ПБТФ/ПФЭСПО			ПБТФ/ПФЭКСПО		ПК/ПФЭКСПО			ПК/ПФЭСПО	
Содержание модификатора, %	-	0,5	1	0,5	1	-	0,5	1	0,5	1
ПТР, г/10мин	7,51	7,32	6,72	6,94	6,08	11,76	8,21	7,90	12,23	13,47

Показатель текучести расплава измерен при 250 °С и нагрузке 5 кг для композиций с ПК, 230 °С и нагрузке 2,16 кг для композиций с ПБТФ. Как видно из полученных данных (таблица 1), введение блоксосополиэфирпиррола (ПФЭКСПО) в ПБТФ в зависимости от его содержания (0,5 и 1,0 масс. %) вызывает снижение ПТР композиций. При этом повышение содержания сополимера влияет на увеличение ПТР композиций с ПК. Значения ПТР композиции ПБТФ/ПФЭКСПО при термостарении незначительно отличаются от исходных значений ПТР, что свидетельствует о хорошей термостабильности полученных композиций.

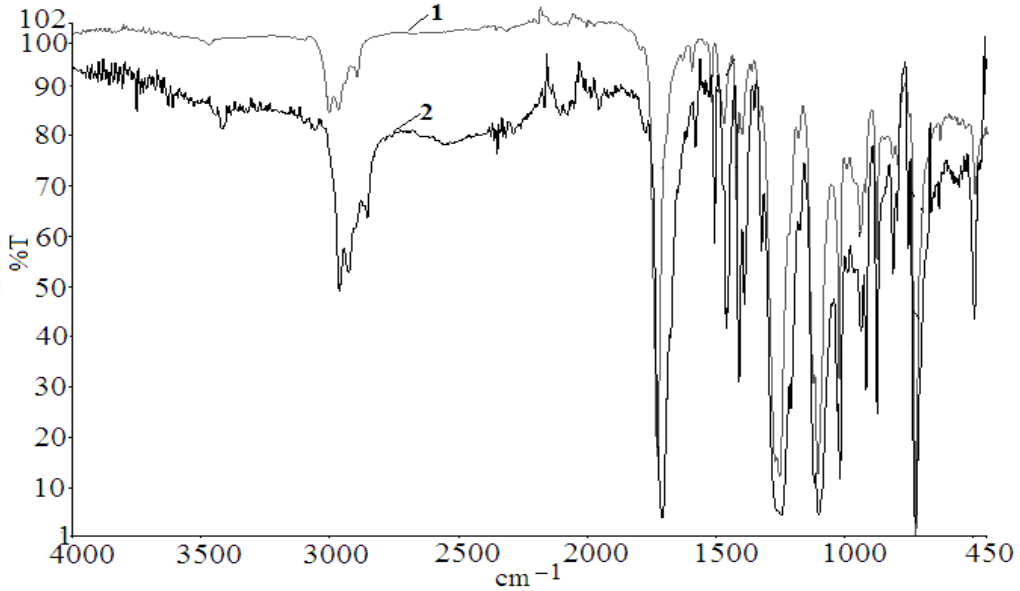


Рис.2. ИК-спектры: 1-промышленного ПБТФ D-201, 2- композита ПБТФ D-201+ 0,5% ПФЭКСПО

Более низкие значения ПТР наблюдались у композиций, содержащих 1,0 масс. % ПФЭКСПО. Очевидно, на данном уменьшении показателя текучести

расплава сказалось увеличение молекулярной массы полимеров за счет межмолекулярного взаимодействия молекул матрицы с блоксополиэфирпирролом. На это указывает образование сложноэфирной связи $–R_1–O–CO–R_2–$ в ходе реакции трансэтерификации, что подтверждалось данными ИК-спектроскопии (рис 2.). Возможность протекания данных процессов также описывается в некоторых источниках [4, 5].

Возрастание значений ПТР наблюдается у композиций ПК/ПФЭСПО. Таким образом, разработанный модификатор позволяет регулировать текучесть, вязкость, в частности, увеличивать ПТР, что облегчает процесс переработки полимера.

Таблица 2

Физико-механические характеристики композитов

Состав композитов	ПК*	ПК / ПФЭСПО		ПК / ПФЭКСПО		ПБТФ**	ПБТФ / ПФЭСПО		ПБТФ/ ПФЭКСПО	
Испытания	-	0,5%	1,0%	0,5%	1,0%	-	0,5%	1,0%	0,5%	1,0%
Модуль упругости при растяжении, МПа (1 мм/мин)	1985	2140	2122	2137	2193	2054	2105	2112	2135	2136
Модуль упругости при растяжении, МПа (10 мм/мин)	2051	2205	2235	2189	2281	2120	2134	2167	2207	2195
Прочность при разрыве, МПа	70,5	74,3	71,4	72,9	74	62,1	65,4	62,4	66,5	62
Ударная вязкость по Изоду кДж/м^2	24	155,74	59,29	188,48	169,99	12,27	12,73	13,41	5,63	8,05

, ** – *для приготовления композиций использовался поликарбонат марки Carbomix-6 и полибутилентерефталат марки D-201

Введение модификаторов оказывает значительное влияние на физико-механические свойства композитов (таблица 2). Было обнаружено, что достаточно введения небольшого – 0,5 масс. % – количества модификатора

ПФЭКСПО для повышения модуля упругости при растяжении. Ударная вязкость при добавлении модификатора ПФЭКСПО к ПК с 0,5 и 1 масс. % существенно повышается и имеет максимальное значение 188,48 кДж/м^2 для композиции с меньшей концентрацией модификатора. Предположительно это происходит благодаря межфазным взаимодействиям модификатора с матрицей полимера.

Прочность при разрыве в случае использования в качестве добавки 0,5 масс. % ПФЭСПО, как к ПБТФ, так и к ПК, значительно увеличивается, что говорит о преимуществе использования именно малых концентраций модифицирующих добавок.

Выводы:

- введение блоксосополиэфирпиррола (ПФЭКСПО) в ПБТФ в зависимости от его содержания (0,5 и 1,0 масс. %) влияет на существенное снижение ПТР полученных композиций;

- повышение концентрации введенного сополимера приводит к увеличению ПТР композиций с ПК;

- ПТР композитов ПБТФ/ПФЭКСПО обладают хорошей термостабильностью;

- у композиций, содержащих 1,0 масс. % ПФЭКСПО, наблюдается снижение значения ПТР а у композиций ПК/ПФЭСПО возрастание значений ПТР.

Таким образом, введение разработанных нами модификаторов позволяет повысить технологичность композитного материала, т.е. позволяет снизить температурные режимы и значительно облегчить процесс его переработки. Полученные данные также указывают на стабилизирующее действие синтезированного модификатора.

Список литературы

1. Бондалетова, Л.И. Полимерные композиционные материалы (Ч 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.

2. Ней Зо Лин Технологические и эксплуатационные свойства наномодифицированного полиэтилена: дисс. … канд. техн. наук: 05.17.06 – Москва., 2017. – 163 с.

3. Жеребкер, К.Я. Синтез и свойства N-ферроценилалкилированных пирролов / К.Я. Жеребкер, А.Н. Родионов, М.М. Ильин, А.А. Корлюков, Д.Е. Архипов, Ю.А. Белоусов, А.А. Сименел // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2014. – № 10. – С. 2281.

4. Коршак, В.В. Неравновесная поликонденсация / В.В. Коршак, С.В. Виноградова. – М.: Наука, 1972. – 695 с.

5. Балаева, М.О. Синтез и свойства полимеров, содержащих в основной цепи пирролные фрагменты: дис.… канд. хим. наук: 02.00.06. / Балаева Марина Олеговна. – Нальчик., 2017. – 158 с.

УДК: 669.017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Протопопов Е.А.[1], Женаева Е.Е.[2], Алтунин А.В.[2]

1) Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

2) АО «АК «Туламашзавод», г. Тула, Россия

E-mail: pea_12@mail.ru

USE OF CHEMICAL COMPOSITION TO IMPROVE OPERABILITY OF METAL OF PIPELINE SYSTEMS

Protopopov E.A.[1], Zhenaeva E.E.[2], Altunin A.V.[2]

1) Tula State University, Tula, Russia

2) JSC «AK «Tulamashzavod», Tula, Russia

E-mail: pea_12@mail.ru

Аннотация. Проанализированы производственные технологические факторы, оказывающие влияние на механические свойства горячекатаного металла, предназначенного для изготовления труб. Показано, что обеспечение минимального разброса предела текучести металла в производимых трубах (что необходимо для повышения работоспособности метал-

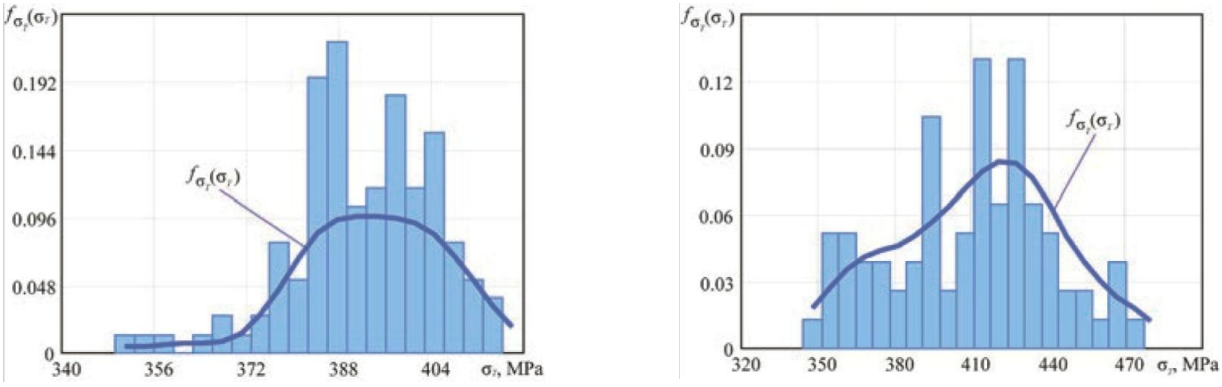
ла трубопровода при обеспечении прочностной надежности трубопроводных систем) достижимо за счет регулирования химического состава выплавляемых трубных сталей.

Ключевые слова: трубные стали, химический состав, механические свойства, предел текучести, твердорастворное упрочнение.

Abstract. The production process factors affecting the mechanical properties of hot-rolled metal intended for pipe manufacturing were analyzed. It has been shown that ensuring the minimum yield strength variation of the metal in the produced pipes (which is necessary to increase the operability of the pipeline metal while ensuring the strength reliability of the pipeline systems) is achieved by regulating the chemical composition of the melted pipe steels.

Keywords: pipe steels, chemical composition, mechanical properties, yield strength, solid-soluble hardening.

На сегодняшний день активно проводятся исследования в области совершенствования производства микролегированных сталей с заданными уровнем механических свойств и параметрами структуры, применяемых при производстве труб большого диаметра. Непрерывный рост требований к уровню и стабильности свойств готовой металлопродукции предполагает изучение и внедрение новых химических составов сталей и металлургических технологий. Обеспечение комплекса свойств, сочетающих высокую прочность, вязкость, хладостойкость и свариваемость, а также снижение себестоимости их производства, является основной задачей при получении высококачественной низколегированной стали. Вместе с тем на сегодняшний день поставляемые производителями трубные стали имеют высокий статистический разброс прочностных характеристик материала труб [1]. Данные параметры имеют случайную природу, их фактические значения и законы распределения варьируются в зависимости от завода-изготовителя, даты выпуска и нормативной документации, согласно которой произведена трубная продукция, рис. 1.



а б

Рис. 1. Функция плотности вероятности и гистограмма частот распределения σ_T труб из стали 17Г1С, изготовленных на Харцизском (а) и Челябинском (б) трубных заводах [1]

Таким образом, для улучшения работоспособности металла труб при сохранении прочностной надежности трубопроводов нужно обеспечить уменьшение допускаемых пределов случайного разброса механических свойств сталей по сравнению с существующими требованиями. Это можно реализовать путем корректировки технологических параметров переделов при производстве трубного проката, необходимой для получения стабильного уровня механических свойств металла, в том числе предела текучести.

Известно, что на механические свойства горячекатаного металла оказывает влияние ряд параметров, начиная от исходной структуры литой заготовки и заканчивая условиями охлаждения готового проката, причем наиболее заметное влияние оказывают термомеханические параметры чистовой прокатки и ускоренного контролируемого охлаждения [2]. Влияние этих параметров на прочностные свойства металла трубной продукции можно оценить через уравнение М.И. Гольдштейна, учитывающее суммарный вклад различных механизмов упрочнения [3]:

$$\sigma_T = \sigma_0 + \Delta\sigma_{тр} + \Delta\sigma_{д} + \Delta\sigma_{ду} + \Delta\sigma_{з}, \qquad (1.1)$$

где: $\Delta\sigma_{тр}$, $\Delta\sigma_{д}$, $\Delta\sigma_{ду}$, $\Delta\sigma_{з}$ – вклады механизмов упрочнения соответственно твердорастворного, дислокационного, дисперсионного и зернограничного;

σ_0 – напряжение трения решетки железа.

Авторами [4] установлено, что наиболее существенным вкладом в упроч-

нение является зернограничное упрочнение (44 – 48 %) и твердорастворное упрочнение за счет легирования (33 – 34 %). На сегодняшний день постоянство параметров технологических процессов серийного производства трубного проката определяет воспроизводимость и стабильность получаемого уровня дисперсионного упрочнения и плотности дислокаций в разных партиях труб. Следовательно, можно говорить о неизменном вкладе дисперсионного, дислокационного и зернограничного механизмов упрочнения в (1.1) при производстве трубной продукции:

$$A = \sigma_0 + \Delta\sigma_{\partial} + \Delta\sigma_{\partial y} + \Delta\sigma_{з} \approx const \qquad (1.2)$$

и выражение (1.1) приобретает вид [5]

$$\sigma_T = A + \Delta\sigma_{тр}\,. \qquad (1.3)$$

Выражение (1.3) показывает, что единственным параметром, который не может быть воспроизведен в автоматизированном производстве трубной продукции при выпуске разных партий труб, является химический состав металла. Это является следствием того, что при плавке стали указывается максимально допустимая величина содержания химического элемента, а не конкретный диапазон содержания химического элемента. Поэтому варьирование химического состава стали одной марки для различных плавок оказывает влияние на изменение $\Delta\sigma_{тр}$ в производимой из металла этих плавок трубной продукции. В соответствии с выражением (1.3) это является определяющим фактором рассеивания величины предела текучести трубных сталей (рис. 1).

Выражение (1.3) отражает то, что за счет целенаправленного регулирования химического состава стали при ее выплавке на предприятии по производству трубной продукции, можно достичь стабильной величины предела текучести стали для различных плавок путем корректирования степени твердорастворного упрочнения.

Этапы решения данной задачи соответствуют общей последовательности решения материаловедческих задач, рис. 2.

Рис. 2. Оптимизации химического состава стали при ее выплавке

Резюмируя, можно сделать вывод, что стабильность получения механических свойств трубных сталей, а также увеличение работоспособности металла труб при сохранении прочностной надежности нефтегазовых трубопроводов можно обеспечить за счет оптимизации химического состава стали при ее плавке в условиях серийного и крупносерийного производства труб.

Список литературы

1. Голофаст С.Л. Оценка влияния механических свойств трубной стали 17Г1С различных производителей на прочностную надежность магистральных трубопроводов // Экспозиция Нефть Газ. 2018. №7. С. 67-72.

2. Лисин Ю.В. Исследования физико-химических свойств стали длительно эксплуатируемых трубопроводов, оценка ресурса безопасной работы // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. №4. С. 17-28.

3. Гольдштейн М.И. Пути повышения прочности и хладостойкости конструкционных сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 1987. №11. С. 6-11.

4. Высоцкий В.М., Мотовилина Г.Д., Хлусова Е.И. Теоретическая и экспериментальная оценка упрочнения и охрупчивания низколегированных ферритно-перлитных сталей // Вопросы материаловедения. 2004. № 4. С. 5-13.

5. Protopopov E.A., Val’ter A.I., Protopopov A.A., Malenko P.I. Regression relations for estimating the mechanical properties of steels subjected to solid-solution hardening o // Russian metallurgy (Metally). 2015. T.2015. № 7. P. 565-570.

6. Протопопов Е.А. Оценка и прогнозирование работоспособности сталей нефтегазо-

вых трубопроводов по результатам анализа приведенных параметров межатомных связей: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Протопопов Евгений Александрович. Тула, 2020. 253 с.

УДК 66.022.34

ГИДРОФОБИЗАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОЛИГОАЛКИЛГИДРИДСИЛОКСАНАМИ

Щукина И.А., Дедов Н.А., Ильина Т.А., Костылева Е.И., Новиков А.Н.
Новомосковский институт Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская область, Россия
E-mail: innokenttty98@mail.ru

OLIGOALKYLHYDRIDSILOXANES FOR WOOD HYDROPHOBIZATION

Shchukina I.A., Dedov N.A., Ilyina T.A., Kostyleva E.I., Novikov A.N.
Novomoskovsk institute Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Novomoskovsk, Tula region, Russia
E-mail: innokenttty98@mail.ru

Аннотация. В представленной работе обсуждаются результаты использования олигоалкилгидридсилоксанов для гидрофобной отделки древесины, которые применяли в виде водных эмульсий, полученных с использованием ультразвукового диспергирования. Изучено влияние различных факторов на свойства полученных покрытий: применение катализатора процесса взаимодействия олигоалкилгидридсилоксана и функциональных групп на поверхности древесины, температурного режима фиксации покрытия, концентрации активного вещества. Предложены составы и режимы формирования гидрофобных покрытий на древесине пород сосна и осина.

Ключевые слова: гидрофобизация, олигометилгидридсилоксан, олигоэтилгидридсилоксан, краевой угол смачивания, водопоглощение.

Abstract. In the present work, the results of the use of oligoalkylhydridsiloxanes for hydrophobic wood finishing, which were used in the form of aqueous emulsions obtained using ultrasonic

dispersion, are discussed. The influence of various factors on the properties of the obtained coatings has been studied: the use of catalysis of the process of interaction of oligoalkihydridsiloxane and functional groups on the surface of wood, the temperature regime of fixing the coating, the concentration of the active substance. Compositions and modes of formation of hydrophobic coatings on pine and aspen wood are proposed.

Keywords: hydrophobization, oligomethylhydridsiloxane, oligoethylhydridsiloxane, wetting edge angle, water absorption.

Наиболее распространенным способом придания водоотталкивающих свойств различным материалам кремнийорганическими соединениями является гидрофобизация. При такой отделке материалы остаются паро- и воздухопроницаемыми. Гидрофобные кремнийорганические покрытия надежно защищают материалы от влаги, повышая срок службы изделий или их эксплуатационные свойства [1-5].

Гидрофобизирующие составы, которые использовались в данной работе, были получены на основе олигометилгидридсилоксана (ГКЖ-М)иолигоэтилгидридсилоксана(ГКЖ). Гидрофобные свойства этим олигомерам придают метильные и этильные группы, связанные с атомом кремния (т.е. ≡ Si–CH_3, ≡ Si–C_2H_5). Наличие в олигомерах связи ≡Si–H обуславливает химическое взаимодействие с функциональными группами обрабатываемой поверхности[1,3]. Данная реакция требует применения катализаторов. Для этого в работе был использован γ-аминопропилтриэтоксисилан (ГМТС).

Гидрофобные покрытия получали нанесением на подложки водных эмульсий олигоалкилгидридсилоксанов. Эмульгирование ГКЖ и ГКЖ-М проводили ультразвуковом поле (УЗ-поле),так как данный способ позволяет получать устойчивые системы при незначительном содержании. Выявлено, что диспергирование в УЗ-поле приводит к получению систем с размером частиц дисперсной фазы 0,5– 1,5 мкм.

Испытания проводили с образцами лиственных и хвойных пород древесины: осина и сосна. Для получения защитного слоя на образцах древесины подложку обрабатывали водным раствором ГМТС (3 и 5%), далее образец про-

питывали 10% водным раствором кремнийорганической эмульсии и сушили при Т=60^{0}С в течение 1– 3 ч.

Гидрофобность покрытия устанавливали, определяя краевой угол смачивания (θ) на экспериментальных образцах. Результаты испытаний представлены в таблицах 1, 2.Они свидетельствуют о получении на поверхности всех обработанных образцов гидрофобного эффекта, так как все эти значения больше 90°.

Таблица 1

Свойства гидрофобного покрытия на образцах из древесины сосны

№ образца	Олигомер, используемый для гидрофобизации	Концентрация модификатораГМТС, ω, %	Концентрация рабочего раствора эмульсии ω, %	Краевой угол смачивания θ, град	Работа адгезии, Wa, мДж/м^2	Wa/Wк
1.	ГКЖ-М	5,0	2,4	123	33,1	0,23
2.	ГКЖ-М		4,5	132	24,1	0,16
3.	ГКЖ-М	3,0	2,4	107	51,4	0,35
4.	ГКЖ-М		4,5	129	26,9	0,19
5.	ГКЖ	5,0	2,4	131	25,0	0,17
6.	ГКЖ		4,5	130	26,0	0,18
7.	ГКЖ	3,0	2,4	108	50,2	0,35
8.	ГКЖ		4,5	118	38,6	0,27

Таблица 2

Свойства гидрофобного покрытия на образцах из древесины осины

№ образца	Олигомер, используемый для гидрофобизации	Концентрация катализатора, ω, %	Концентрация рабочего раствора эмульсии ω, %	Краевой угол смачивания θ, град	Работа адгезии, Wa, мДж/м^2	Wa/Wк
1.	ГКЖ-М	5,0	2,4	102	57,6	0,40
2.	ГКЖ-М		4,5	118	38,6	0,27
3.	ГКЖ-М	3,0	2,4	96	65,1	0,45
4.	ГКЖ-М		4,5	108	50,2	0,35
5.	ГКЖ	5,0	2,4	104	55,1	0,38
6.	ГКЖ		4,5	114	43,1	0,30
7.	ГКЖ	3,0	2,4	98	62,6	0,43
8.	ГКЖ		4,5	107	51,4	0,35

Значение краевого угла смачивания зависит от многих факторов. В первую очередь от природы обрабатываемого материала, в данном случае – от вида обрабатываемой древесины, так как содержание целлюлозы и других компонентов лигноуглеводного комплекса в них различно. Выявлено, что на образцах

из древесины породы сосна несколько выше значения θ несколько выше, по сравнению с образцами из осины.

Концентрация олигоалкилгидридсилоксана в исследуемых составах влияет на краевой угол смачивания. Наблюдается понижение θ при уменьшении концентрации ГКЖ. Оптимальное содержание активного компонента в рабочем растворе составляет 4,5 %. Отмечено, что эффективность использования ГКЖ и ГКЖ-М с различным органическим обрамлением практически одинакова. Выявлено, что для создания гидрофобного, долговечного покрытия необходимо использование ГМТС катализатора сшивки ГКЖ, ГКЖ-М и функциональных групп древесины. Оптимальная концентрация раствора ГМТС составляет 5 %.Увеличение гидрофобности получаемого покрытия происходит также при правильно подобранном режиме пропитки и сушки образцов. Оптимальные результаты получены при выдерживании древесины в рабочем растворе 1 ч и дальнейшей сушке в течении 2 ч.

Обработанные образцы испытывали на водостойкость, определяя водопоглощение за различные промежутки времени. Выявлено, что гидрофобная обработка в достаточной мере снижает поглощение влаги всех обработанных образцов. Привес контрольных необработанных образцов осины при воздействии водной среды в течении одного часа составляет 50%, у обработанных гидрофобизирующими составами – 6%.

Таким образом, в работе представлены результаты исследований по применению олигоалкилгидридсилоксанов для гидрофобной отделки древесины, предложены составы и режимы формирования устойчивых гидрофобных покрытий.

Основная часть работ выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта лаборатории "Лаборатория ионных материалов" (ЛИМ), проект № FSSM-2021-0014; Изучение гидрофобных свойств обработанных образцов дре-

весины выполнено при финансовой поддержке гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники. Постановление № 433 от 05.07.2022 г.

Список литературы

1. Гидрофобизация/ Пащенко А. А. [и др.]. Киев: Наукова думка, 1973. 240 с.

2. Стенин А.А., Айзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Демидов М.Л., Фролова М.А. Минеральный модификатор поверхности для защиты строительных материалов из древесины //Научно-технический и производственный журнал. 2014. С. 51-53.

3. Седнев В.А., Савченко Н.А. Кремнийорганические композиции для нанесения защитных гидрофобизирующих покрытий на строительные материалы//Физика и химия обработки материалов. 2011. №6.С.76-81.

4. Лисичкин Г. В., Оленин А. Ю. Гидрофобизация неорганических материалов методом химического модифицирования поверхности//Журналприкладнойхимии. 2020. Т. 93. Вып. С.5-19.doi: 10.1134/S0044461820010016

5. Семенов В.В. Гидрофобизация древесно-стружечных и древесно-волокнистых плит кремнийорганическими мономерами и жидкостями//Химиярастительногосырья. 2009. №4. С. 177–181.

НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.924.51

ЦИФРОВОЙ 3D-ДВОЙНИК ШЛИЦЕШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ

Доманский А.Р.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

E-mail: domanskiy97@mail.ru

DIGITAL 3D DOUBLE OF A SLOTTED GRINDING MACHINE FOR THE PURPOSE OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF THE ELASTIC SYSTEM STATE

Domanskii A.R.

Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

E-mail: domanskiy97@mail.ru

Аннотация. Повышение скоростей резания и подачи в станках с одновременно растущими требованиями к точности и качеству обрабатываемых поверхностей вынуждает искать пути оценки динамических характеристик станка еще на стадии проектирования. Способствовать решению этой задачи может цифровой 3D-двойник станка. В статье описаны результаты разработки и применения цифрового двойника шлицешлифовального станка.

Ключевые слова: шлифование, станок, моделирование, вибрации, анализ.

Abstract. Atthemoment, whenmodernnumericalcontrol (CNC) machines operate with high cutting speeds, spindle rotation and feed, there is a need to improve the properties of the treated surface and reduce tool wear. At large cutting depths and material removal speeds, there is a rattling of metalworking equipment caused by self-excited vibration in the machines, which leads to accuracy errors, poor quality of the treated surface, tool wear and rapid failure of the machine.

Keywords: grinding, machine tool, modeling, vibration, analysis.

Шлифовальные станки объединяют обширную группу оборудования для обработки заготовок из различных материалов абразивными кругами. Большую роль в получении качественной детали играют динамические характеристики упругой системы станка [1], от которых зависит точность и производительность оборудования.

Шлицешлифовальный станок МШ397М-I, производимый ООО «Станко-НОВА», – это разновидность шлифовальных станков, которая используется для обработки шлицевых валов, прямозубыхшестерен, и, также, для шлифования плоских поверхностей на цилиндрических деталях. Главное движение резания выполняет шлифовальный круг с частотой вращения 1500-20000 об/мин, механизм деления осуществляет поворот заготовки на нужный угол, движения формообразования выполняют привод поперечной подачи заготовки и привод подачи шлифовального круга [2].

Основным источником вибраций, возникающих при обработке, является вращение шлифовального круга. Из-за вибраций инструмента снижается качество обработанных деталей, усиливается динамический характер силы резания, а нагрузки на движущиеся детали станка многократно возрастают, особенно в условиях резонанса.

Для того чтобы минимизировать влияние вибраций и не допустить возникновения резонанса в конструкции, необходимо создание цифрового двойника оборудования – виртуальной копии реального объекта [3]. С помощью 3D-модели (цифрового двойника) возможно проведение необходимых исследований жесткостных и динамических характеристик будущего станка еще на этапе разработки.

Анализ методом конечных элементов (МКЭ/FEA), на котором основаны специализированные программы (SolidWorksSimulation, Ansys и т.д.) – это математическое представление физической системы, состоящей из детали или узла, свойств материала и граничных условий. МКЭ является удобным методом

представления сложного поведения путем точного отражения физических явлений с помощью дифференциальных уравнений.

На рис.1 представлена 3D-модель шлицешлифовального станка модели МШ397М-I, созданная в среде проектирования «Компас». Для проведения расчетов, достаточно использовать модели отдельных узлов, поскольку эксперименты с полной моделью занимают много времени.

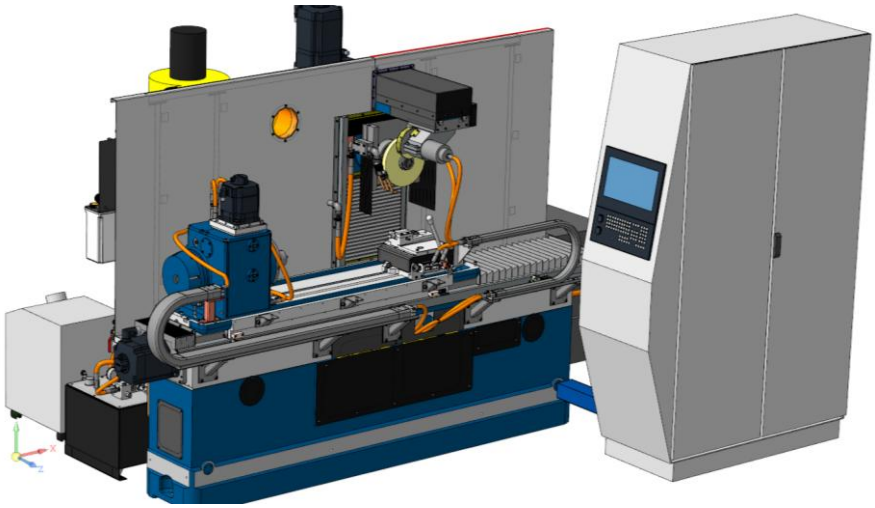


Рис. 1. 3D-модель шлицешлифовального станка МШ397М-I

Для получения корректных результатов, возможно создание упрощенной модели (рис.2), состоящей из основных корпусных деталей: станины, стола, колонки, шпиндельной бабки и корпуса механизма деления.

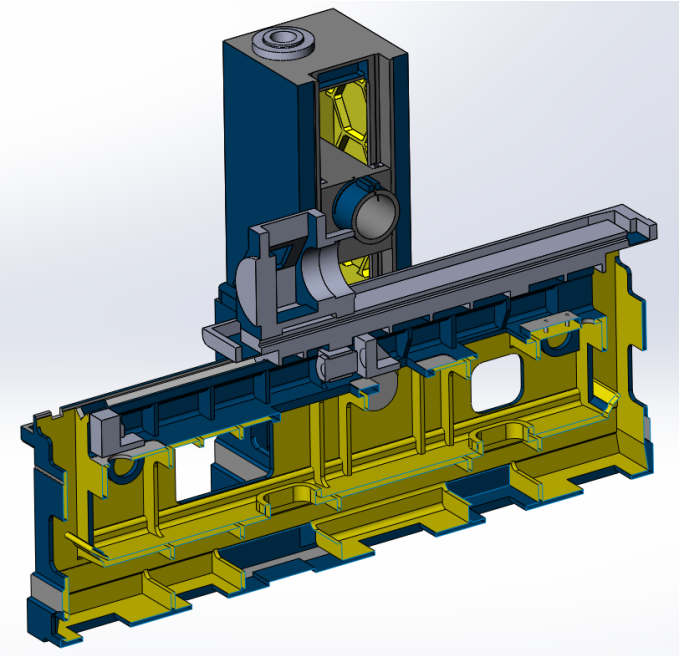


Рис. 2. Упрощенная 3D-модель шлицешлифовального станка МШ397М-I

Сила резания, массы необходимых элементов и масса заготовки, задаются через параметры настройки исследования. В том же разделе задаются взаимосвязи отдельных узлов между собой, путем задания необходимых ограничений. В завершении подготовки расчетной модели создается сетка конечных элементов, которая состоит из элементов, содержащих узлы формирующие геометрию. Неправильно сформированная сетка может вызвать трудности в достижении сходимости, что может привести к неправильным результатам и ложным выводам [4].

Процесс расчета состоит из двух этапов: определение собственных частот отдельных деталей и сборки в целом; динамический расчет отдельных деталей и сборки в целом при воздействии внешних сил. Подобные исследования выполнены для упрощенной модели шлицешлифовального станка меньшего типоразмера [5], но без использования 3D модели.

В качестве примера рассмотрим динамический расчет детали «Колонка» (рис.3) из общей модели сборки станка (рис.2). Нагрузки, воздействующие на конструкцию, аналогичны нагрузкам при обычном точном плоском шлифовании на станке детали типа «Вал» из стали 40Х с диаметром 300 мм.

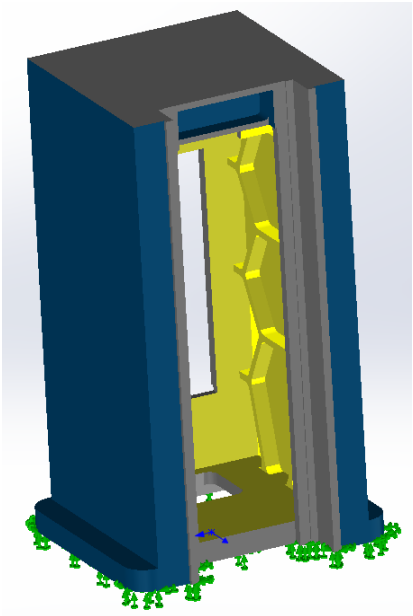


Рис. 3. Модель детали «Колонка»

В результате проведенных расчетов собственных частот колебаний и колебаний при воздействии внешней силы и анализе полученных графиков (рис.4) было определено, что максимальная амплитуда собственных колебаний соответствует частоте951,22 Гц, а максимальная частота отклика конструкции при моделировании процесса резания составляет 862,25 Гц. На графике также присутствуют потенциально опасные частоты (628,74 Гц) с меньшей амплитудой, однако ближайший пик амплитуды собственных колебаний возникает на частоте 683,53 Гц.

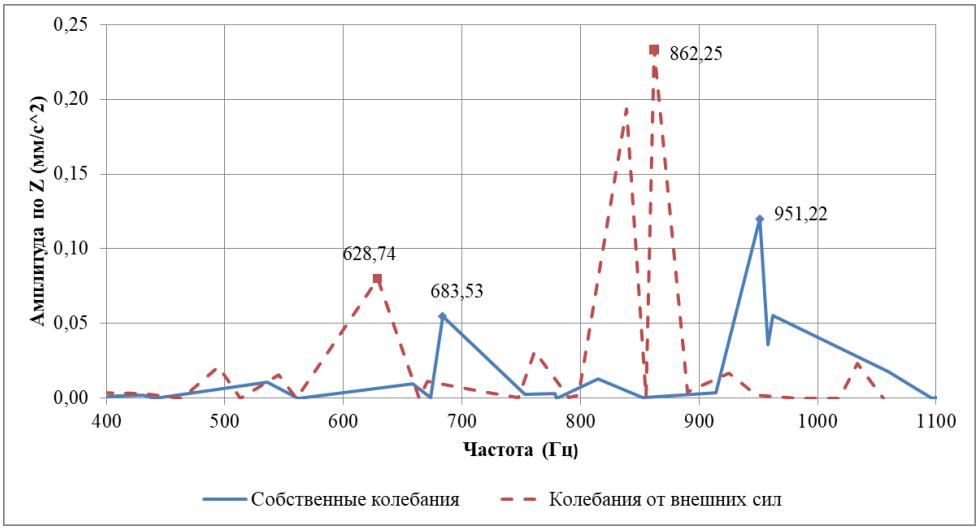


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика детали «Колонка»

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что деталь «Колонка» способна выдерживать колебательные возмущения от электрошпинделя максимальной величиной 334 Гц и воздействующие на нее динамические нагрузки от шлифовального круга в процессе резания. В дальнейшем предполагается проведение натурных экспериментов с целью оценки адекватности созданной модели. Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод, что созданный цифровой двойник шлицешлифовального станка подходит для целей предварительной вибродиагностики оборудования на этапе проектирования и способен дать представление об общей картине, действующих на конструкцию вибраций.

Список литературы

1.Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967, 367 с.

2. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 2. — М.: Машиностроение, 2011. — 586 с.

3. Цифровые двойники: почему все о них говорят и всем ли они нужны? [Электронный ресурс]//Хабр. URL: https://habr.com/ru/company/factory5/blog/512364 (Дата обращения: 18.02.2023).

4. АлямовскийА. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 562 с.

5. Чурилин А.В., Сабиров Ф.С. Влияние динамических характеристик упругой системы станка на качество поверхности при шлицешлифовании // Вестник МГТУ Станкин. 2017. № 2 (41). С. 8-12.

УДК 621.74

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Корбанов В.Д.

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

E-mail: kor.6@yandex.ru

COMPARISON OF METHODS FOR MANUFACTURING COMPLEX PROFILE CASTINGS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

Korbanov V.D.

TULA STATE UNIVERSITY, Tula, Russia

E-mail: kor.6@yandex.ru

Аннотация. В статье приведено сравнение способов получения отливок с применением аддитивных технологий на примере технологий MJM (США) и исследуемой технологией литья по аддитивной пластиковой модели на базе FDM-технологии. Наглядно представлен современный технологический процесс получения сложопрофильных отливок в рамках единичного или мелкосерийного производства. Представлены результаты сравнения шероховатости, усадки и себестоимости полученных литейных моделей.

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям, моделирование литейных про-

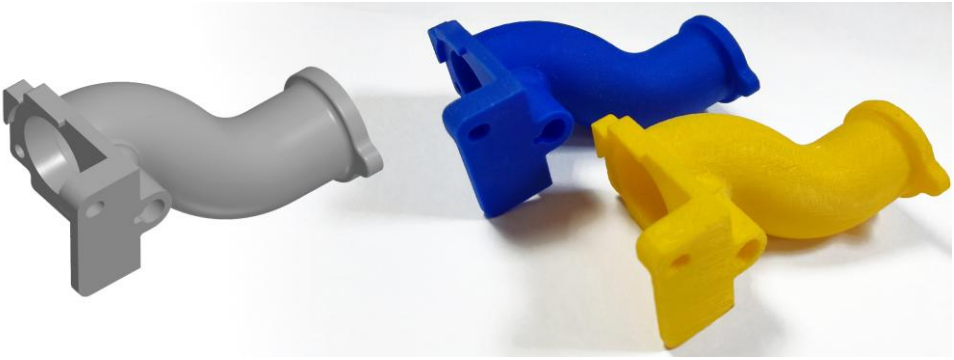
цессов, аддитивные технологии, FDM, MJM, PLA-пластик.

Abstract. The paper compares the methods for obtaining castings using additive technologies for example of MJM (USA) and the researched technology of casting according to an additive plastic model based on FDM. The modern technological process of manufacturing complex profile castings in single or small-scale production is clearly presented. The results of comparison of roughness, shrinkage and cost of the obtained casting models are presented.

Keywords: investment casting, modeling of foundry processes, additive technologies, FDM, MJM, PLA-plastic.

Абсолютным лидеров в разработке и применении аддитивных технологий является США [1]. Американские компании такие, как «3D Systems», «Stratasys» и другие зарубежные компании. имеют ограничения в поставке своих технологий, оборудования и даже расходных материалов ряду отечественных производств, в том числе имеющих стратегическое значение. Технологии данных компаний находят применение и в сфере литейного производства, позволяя значительно сократить время выпуска опытных изделий в рамках НИР и ОКР.

Сравнение способов изготовления литых заготовок с помощью аддитивных технологий рассмотрим на примере стальной отливки «Патрубок» из материала сталь 35Л ГОСТ 977-88, CAD-модель которой представлена на рис. 1 а.



а) б)

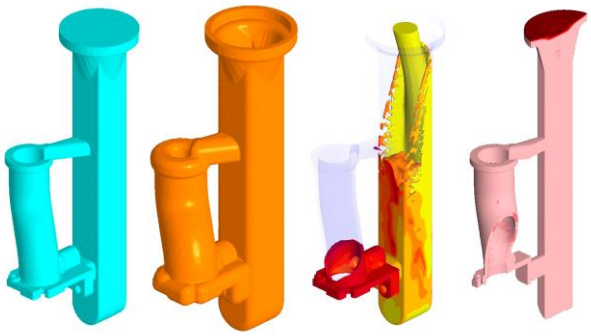
Рис. 1. Модель исследуемой отливки типа «Патрубок»:
а) CAD-модель, б) аддитивная модель слева направо: модель полученная с помощью MJM-технологии и FDM-технологии

Рассматриваемая модель «Патрубок» имеет сложную геометрию, что затрудняет её производство традиционными «вычитающими» способами. Детали такой конфигурации целесообразно выполнять методом литья, но даже в этом случае изготовления сложной дорогостоящей оснастки может быть не рентабельно [2]. Использование современных аддитивных технологий позволяет значительно снизить ценовой порог производства отливок любой сложности при единичном или мелкосерийном типе производства.

Сравнение способов изготовления производится на примере литья по выплавляемым моделям с применением восковой модели из материала «VisiJet M3 Hi-Cast», полученной по аддитивной технологии MJM (США) [3] и исследуемой технологии литья по выжигаемой аддитивной модели [4,5], выполненной из PLA-пластика по FDM-технологии (рис. 1 б).

В первом случае модель для литья изготавливается с помощью принтера ProJet MJP 3600 от компании «3D Systems» (США), во втором — на принтере ZAV PRO MAX от компании «ZAV» (Россия).

Первое приближение в выборе литниково-питающей системы (ЛПС) и определении технологических параметров литья осуществляется при помощью компьютерного моделирования литейных процессов. На данном этапе можно определить и в дальнейшем скорректировать такие параметры как: напор, температуру формы, температуру и скорость заливки, сечения элементов ЛПС и др., а также спрогнозировать усадочные дефекты. Процесс моделирования производится при помощи отечественного программного обеспечения LVMFlow. Результаты моделирования представлены на рис. 2.



а) б)

Рис. 2. Моделирование процессов литья отливки «Патрубок»:
а — процесс моделирования, слева направо: CAD-модель блока, сгенерированная керамическая оболочка, заливка металла, анализ полученных результатов; б — быстрая ссылка на видео процесса моделирования

Будущие модели отливок выращиваются с поддерживающими структурами с той лишь разницей, что в MJM-технологии поддерживающие структуры выполнены из растворяемого материала «VisiJet S400», а в случае с FDM-технологией — из того же материала, что и основная модель — PLA-пластик. Это обстоятельство сказывается на шероховатости поверхности в зоне контакта поддерживающих структур и тела модели.

Полученные модели отливок собираются с ЛПС, после чего производится нанесение многослойного огнеупорного покрытия (см. рис. 3 а, б). Данный этап аналогичен процессу формирования керамической оболочки в литье по выплавляемым моделям с моделями из классический восковых композиций.

Различие в технологии рассматриваемых способов наблюдается в процессе удаления моделей из полости керамической оболочки. Так, воскоподобная модель, полученная по MJM-технологии, удаляется вместе с моделью ЛПС при температуре 125°С. Температура удаления модели изготовленной из PLA-пластика значительно выше, что требует комбинированного удаления — сначала удаляется более легкоплавкая восковая часть ЛПС, затем высокотемпературное выжиганием пластиковой модели.

После окончательного удаления моделей полученные керамические оболочки проходят технологические операции прокалки, заливки, охлаждения, от-

резки и очистки. Полученные отливки представлены на рис. 3 в.

а) б) в)

Рис. 3. Процесс изготовления отливок:

а — сборка блока; б — изготовление керамической оболочки; в — отливки «Патрубок»

По результатам заливки были получены годные литые заготовки «Патрубок». При этом можно выделить следующие отличия в используемых технологиях (см. табл. 1)

Таблица 1

Сравнение используемых технологий получения литых заготовок

Параметр	MJM	FDM
Время печати, ч	11,2	5,2
Масса используемого основного материала, кг	0,044	0,038
Стоимость основного материала, руб./кг	86 400,0	1 300,0
Масса используемого поддерживающего материала, кг	0,018	0,004
Стоимость поддерживающего материала, руб./кг	34 300,0	1 300,0
Стоимость аддитивной модели, руб.	4 419,0	54,6
Шероховатость поверхности, мкм	Ra 1,6 … 3,2	Ra 12,5… 35,0
Усадка материала аддитивной модели, %	0,7	1,3
Итоговая усадка отливки, %	2,5	2,7

Примечание – большее значение шероховатости модели, полученной по технологии FDM, соответствует поверхностям сопряженными с поддерживающими структурами.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что несмотря на лучшие результаты по точности и шероховатости поверхности аддитивной модели, технология MJM значительно уступает в доступности и стоимости расходных материалов. Исследуемая технология литья по аддитивной пластиковой модели может заменить во многих случаях фирменные технологии такие, как «QuickCast» или «MJM» от компании «3D Systems». К таким случаям можно

отнести изготовление отливок, к которым не предъявляются повышенные требования к качеству поверхности или к размерной точности. Однако даже эти ограничения можно нивелировать путём введения дополнительных припусков на механическую обработку.

Также можно отметить преимущество литья по аддитивной пластиковой модели, изготовленной из широко распространенных и дешёвых материалов таких, как ABS- и PLA-пластики относительно фирменных воскоподобных материлов, используемых в технологии FDM. Примером таких материалов могут служить «CAST» от компании «REC» или «WAX3D» от компании «Filamentarno!». При использовании вышеописанных материалов себестоимость литейных моделей увеличивается не менее чем в 3 раза.

Список источников

1. Каблов, Е. Н. Настоящее и будущее аддитивных технологий / Е. Н. Каблов // . – 2017. – № 1. – С. 2-6. – EDN YXENRR.

2. Рентабельность применения технологии FFF при изготовлении деталей методом ЛВМ / В. В. Дикарева, П. А. Петров, М. С. Свирин [и др.] // Машиностроение и инженерное образование. – 2020. – № 2(63). – С. 14-22. – EDN ODTWEA.

3. Исмаилова, Ш. Я. Современное состояние MJM-технологий / Ш. Я. Исмаилова, А. Д. Красавин, В. Ю. Сорокин // Россия молодая : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ, НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, Кемерово, 21–24 апреля 2020 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 312011-312015. – EDN LLGURL.

4. Корбанов, В. Д. Литье топологически оптимизированных отливок / В. Д. Корбанов // . – 2022. – № 7. – С. 29-31. – EDN OUQEHK.

5. Корбанов, В. Д. Применение аддитивных технологий при литье по выплавляемым моделям / В. Д. Корбанов // Литейное производство. – 2021. – № 8. – С. 21-22. – EDN AFWXMN.

УДК 621.791.052: 621.791.75

ОЦЕНКА ОТДЕЛИМОСТИ ШЛАКОВОЙ КОРКИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Протопопов Е.А.[1], Женаева Е.Е.[2], Алтунин А.В.[2]

1) Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

2) АО «АК «Туламашзавод», г. Тула, Россия

E-mail: pea_12@mail.ru

SLAG CRUST SEPARABILITY ASSESSMENT FOR ARC WELDING

Protopopov E.A.[1], Zhenaeva E.E.[2], Altunin A.V.[2]

Tula State University, Tula, Russia

JSC «AK «Tulamashzavod», Tula, Russia

E-mail: pea_12@mail.ru

Аннотация. На поверхности закристаллизовавшегося сварного шва, покрытого слоем расплавленного шлака, образуется твердая оксидная пленка. Толщина данного переходного гомогенного оксидного слоя соответствует протяженности естественных оксидных пленок. Такой плотный оксидный слой прочнее, чем рыхлые оксиды шлаковой корки, поэтому принято, что в случае хорошей отделимости отслоение шлаковой корки происходит по поверхности раздела переходный гомогенный оксидный слой – шлак. Предложен количественный критерий отделимости шлаковой корки. Критерий сравнивает разность условных линейных параметров, характеризующих расположение атомов кристаллических решеток переходного оксидного слоя и шлаковой корки, с соответствующим параметром кристаллической решетки переходного оксидного слоя.

Ключевые слова: дуговая сварка, шлаковая корка, критерий отделимости, химический состав, кристаллическая решетка.

Abstract. A solid oxide film is formed on the surface of a crystallized weld coated with a layer of molten slag. The thickness of this transition homogeneous oxide layer corresponds to the length of natural oxide films. Such a dense oxide layer is stronger than loose oxides of a slag crust, therefore, it is appreciated that in case of good separability, the peeling of the slag crust occurs on

top of the transition homogeneous oxide layer-slag. Quantitative criterion of slag crust separability is proposed. Criterion compares difference of conventional linear parameters characterizing arrangement of atoms of crystal lattices of transition oxide layer and slag crust with corresponding parameter of crystal lattice of transition oxide layer.

Keywords: arc welding, slag crust, separability criterion, chemical composition, crystal lattice.

Отделимость шлаковой корки при дуговой сварке оценивается, как правило, по бальной системе по результатам экспериментов. Такой подход сложно использовать при математическом моделировании, особенно при решении задач оптимизации. В данном случае целесообразно применение соответствующих расчетных методов.

Для разработки расчетной методики отделимости шлака рассмотрим физические основы ряда гипотез, объясняющих механизма сцепления шлаковой корки с металлом сварного шва.

По данным работы [1] сцепление шлака с металлом осуществляется преимущественно по межзеренным границам, где скапливаются элементы, оксиды которых способны достраивать кристаллическую решетку шлака. При этом, чем больше площадь межзеренных границ и их глубина, тем выше содержание в межзеренных объемах шлака таких элементов, как титан, ниобий, хром, которое зависит от физико-химических свойств шлака и диффузионной подвижности элементов, тем хуже отделимость шлаковой корки.

При различных температурных коэффициентах линейного расширения металла и шлака отделимость шлаковой корки может быть улучшена при увеличении скорости охлаждения шлака при его затвердевании [2], в случае наличия повышенной теплоотдачи шлака в металл и пониженной в воздух, при сварке аустенитных швов при присутствии в шлаке оксида самого активного по отношению к кислороду элемента, находящегося в составе металла шва [3].

Известно, что при сильно окисленной поверхности шва отделимость шлаковой корки плохая, а в противном случае – удовлетворительная. В тоже

время экспериментально и теоретически показано [4] наличие гомогенного промежуточного оксидного слоя, образующегося между закристаллизовавшимся металлом и жидким шлаком, и оказывающего решающее влияние на отделимость шлаковой корки. Это означает, что отделение шлаковой корки происходит не на поверхности между шлаком и металлом, а по поверхности раздела: переходный гомогенный оксидный слой – шлак.

В подтверждение сделанного предположения можно привести результаты исследования микроструктуры шлаковой корки на аустенитных швах. Установлено, что пленка, с которой эпитаксиально срастаются кристаллы минералов шлаковой корки на хромоникелевых швах, состоит из оксидов ниобия, титана, хрома, сегрегированных на поверхности наплавленного металла, а также комплексных оксидов титана, магния, алюминия и других элементов [5].

Для оценки отделимости шлаковой корки использован критерий:

$$\psi = \frac{\sqrt[3]{V_{окс}} - \sqrt[3]{V_{шл}}}{\sqrt[3]{V_{окс}}} \cdot 100\% , \qquad (1)$$

где: $V_{шл}$– мольный объем шлаковой корки;

$V_{окс}$ – мольный объем гомогенного оксидного слоя на поверхности шва [6].

При построении модели роста оксидной пленки на закристаллизовавшемся металле под слоем шлака использованы следующие положения:

– в расплавленном шлаке присутствует большое количество ионов O_2, которые окисляют поверхность закристаллизовавшегося металла, и на нем растет твердая оксидная пленка, химический состав которой определяется скоростью диффузии элементов металла к границе металл – расплавленный шлак;

– атомы всех элементов образуют свой собственный оксид, а суммарный химический состав оксидной пленки определяется как аддитивный.

Массовая доля простого оксида в оксидной пленке на поверхности закристаллизовавшегося металла шва определяется по зависимости:

$$C_{окс\,i} = \left(\frac{D_i \cdot C_i \cdot M_{окс\,i}}{n_i \cdot R^3_{иона\,i}} \right) \Bigg/ \left(\sum \frac{D_i \cdot C_i \cdot M_{окс\,i}}{n_i \cdot R^3_{иона\,i}} \right), \qquad (2)$$

где: D_i – коэффициент диффузии легирующего элемента металла шва при температуре солидуса;

C_i – массовая концентрация легирующего элемента металла шва;

$M_{окс\ i}$ – молекулярная масса простого оксида;

n_i – стехиометрический коэффициент в формуле оксида легирующего элемента Me_nO_m;

$R_{иона\ i}$ – радиус иона i-ого легирующего элемента металла шва.

Мольный объем оксидной пленки на поверхности закристаллизовавшегося металла шва:

$$V_{окс} = \sum_{i=1}^{N} X_i \cdot V_{окс\ i}\ , \qquad (3)$$

где: $V_{окс\ i}$ – мольный объем простого оксида;

X_i – мольная доля простого оксида.

Так как шлаковая корка отделяется от сварного шва при его остывании, то параметры $V_{окс\ i}$, $V_{окс}$ и $V_{шл}$ условно рассчитываются при комнатой температуре.

В таблице приведены значения критерия ψ, вычисленные применительно к опытным данным [1, 7, 8].

Таблица 1

Отделимость шлаковой корки

№ п/п	Способ сварки и химический состав металла шва	Отделимость шлаковой корки	Критерий ψ, %
1	Сварка в CO_2 (Х25Н25М3)	плохая [1]	3,35
2	Сварка в CO_2 (Св-084Х19Н11М3)	плохая [1]	6,18
3	Сварка в CO_2 (Х25Н25М3Ц)	удовл. [1]	7,97
4	Ручная дуговая сварка (УОНИ-13/45)	хорошая [8]	12,53
5	Сварка в CO_2 (Св-08Х20Н9Г7Т)	хорошая [1]	13,00
6	Сварка под флюсом (АН-348-А + Св-08)	хорошая [7]	11,48
7	Ручная дуговая сварка (УОНИ-13/55)	хорошая [7]	12,35

Таким образом, предложенный метод оценки отделимости шлаковой корки при дуговой сварке дает адекватные результаты и пригоден для практиче-

ского использования. Критерий ψ показывает, что хорошая отделимость шлаковой корки достигается в случае, когда условные линейные параметры, характеризующие расположение атомов кристаллических решеток оксидной пленки на поверхности шва и шлаковой корки отличаются не менее, чем на 10%.

Список литературы

1. Волобуев О. С., Потапов Н. Н., Волобуев Ю. С., Ершов А. В. К вопросу о влиянии температурного коэффициента линейного расширения на отделимость шлаковой корки // Сварочное производство. 1989. № 8. С. 37-39.

2. Игнатов М.Н., Игнатова А.М., Наумов С.В., Корниенко Е.Е., Чумаченко А.Ю. Исследование зависимости коэффициентов термического расширения металла шва и сварочных шлаков от температуры в диапазоне 100 - 1000 °С // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3. С. 116-119.

3. Моравецкий С.И. Отделимость шлаковой корки при дуговой сварке (обзор). Ч. 2. Характер влияния основных факторов на отделимость шлаковой корки // Автоматическая сварка. 2011. № 2 . С. 22-26.

4. Походня И.К., Демченко Л.И., Явдощин И.Р., Карманов В.И., Войткевич В.Г. Кинетика образования промежуточного слоя между металлом шва и шлаковой коркой // Автоматическая сварка. – 1977. – № 2. – С. 1–4.

5. Ершов А.В., Волобуев Ю.С., Потапов Н.Н. Уточнение механизма сцепления шлаковой корки с наплавленным металлом // Автоматическая сварка. 1983. № 8. С. 48-50.

6. Судник В.А., Рыбаков А.С., Протопопов Е.А. Расчетная методика оценки отделимости шлаковой корки // Сварка и смежные технологии. Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. докл. М.: МЭИ(ТУ), 2000. С. 33-37.

7. Потапов Н.Н., Баранов Д.Н., Каковкин О.С. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие: В 2-х т. Т. 2: Сварочные проволоки и электроды. М.: Машиностроение, 1993. 768 с.

8. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением: Учеб. для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1977. 431 с.

УДК 62-97/-98

ВИБРОДИАГНОСТИКА ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ

Самсонов В.А.
МГТУ Станкин, г. Москва, Россия
E-mail: slavasamson@yandex.ru

VIBRATION DIAGNOSTICS OF A CNC MILLING MACHINE

Samsonov V.A.
MSTU Stankin, Moscow, Russia
E-mail: slavasamson@yandex.ru

Аннотация. Основной задачей виброакустической диагностики станков является установление состояния ответственных узлов станка и выявление дефектов на ранних стадиях развития с целью предотвращения аварий на производстве и сокращения затрат на ремонтно-восстановительные работы. На предприятии, работающем по регламенту ППР, планировалось провести капитальный ремонт вертикального консольно-фрезерного станка с ЧПУ ГФ2171С5. Однако, в соответствии с распоряжением правительства РФ от 06.11.21 был начат переход к ремонту оборудования по состоянию. Для этого была проведена виброакустическая диагностика состояния основных узлов и элементов станка. Результатом диагностики стало заключение, на основании которого принято решение отложить плановый капитальный ремонт, ограничившись только устранением выявленных дефектов, что позволило значительно сократить затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Ключевые слова: вибродиагностика, акселерометр, прямой спектр, спектр огибающей, ремонт по состоянию.

Abstract. The main objective of machine tool vibroacoustic diagnostics is to establish the condition of critical machine components and detect defects in the early stages of development in order to prevent accidents in production and reduce the cost of repair and restoration work. The company, which operates under the PPM regulations, had planned to overhaul a vertical console milling CNC machine GF2171C5. However, in accordance with the Russian government decree of 06.11.21, a switch to condition-based repair of equipment was initiated. For this purpose, vibroac-

oustic diagnostics of the condition of the main assemblies and elements of the machine was carried out. The result of this diagnostics was a report, on the basis of which it was decided to postpone the scheduled overhaul, limiting itself only to elimination of the defects identified, which significantly reduced the cost of repair and renewal work.

Keywords: vibration diagnostics, accelerometer, direct spectrum, envelope spectrum, condition repair.

В соответствии с распоряжением правительства от 06.11.2021 [1] на предприятии возникла потребность диагностики станка с целью установления состояния его основных элементов. В процессе подготовки к проведению диагностики была восстановлена кинематическая схема станка, представленная на Рисунок 1, а также выбраны точки для измерений вибраций.

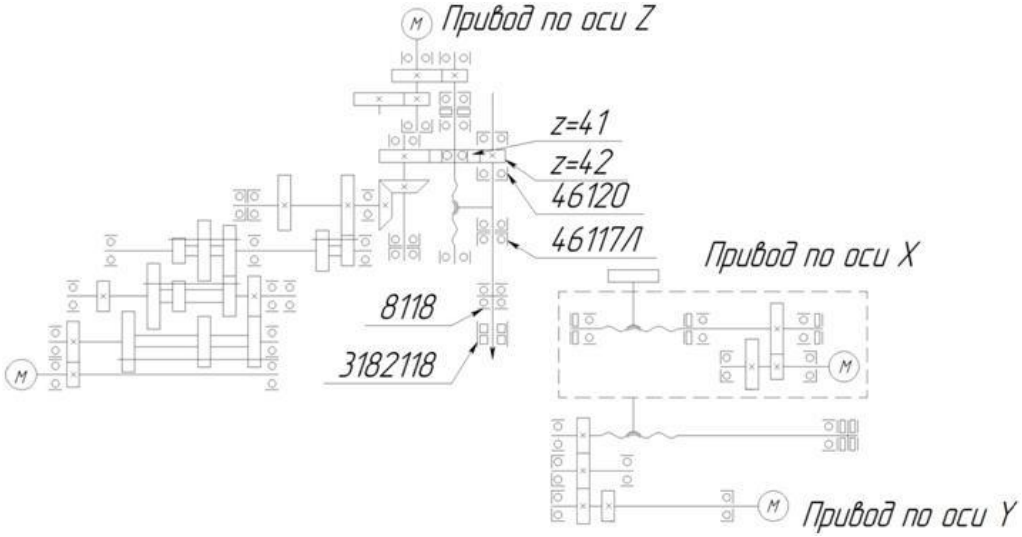


Рис. 1. Кинематическая схема фрезерного станка

По предоставленной документации, были определены наименования подшипников, узлов шариково-винтовых передач (ШВП), числа зубьев колес и т.д. По формулам [2] рассчитаны характерные частоты работы элементов. Эти значения позволят по спектрам вибросигнала оценить состояние подшипников и других диагностируемых элементов. Совпадение проявившихся пиков говорит о конкретном дефекте или о группе дефектов [3] [4], например, дефекты внутреннего, наружного колец подшипника, дефекты сепаратора, дефекты тел качения и т.д.

В соответствии методикой, описанной в ГОСТ ИСО 10816-1-97 проводились измерения вибраций на корпусе близи подшипников и ШВП [5]. В процессе исследования станка использовался прибор СД-21 производства фирмы ВАСТ, акселерометры ICP AP28, фотоэлектрический датчик.

После проведения измерений данные были загружены в ПО Dream 32 и получены прямой спектр и спектр огибающей для каждого измеренного элемента.

Измерение проводилось на частоте 2094 об/мин вращения шпинделя. В таблице 1 приведены подшипники, установленные в шпиндельном узле (ШУ), и их геометрические размеры.

Таблица 1

Геометрические размеры подшипников шпиндельного узла

Место установки	Номер подшипника	Внутренний диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Диаметр тел качения, мм	Количество телкачения, мм	Угол контакта, мм
Передняя опора	3182118	90	140	11	26	0
Передняя опора	8118	90	120	10,32	23	90
Средняя опора	46117Л	85	130	13,49	21	25
Задняя опора	46120	100	150	15,08	22	25

В таблице 2 приведены характерные частоты вышеперечисленныхподшипников.

Таблица 2

Характерные частоты подшипников ШУ

Наименование подшипника	Частота внутреннего кольца, Гц	Частота наружного кольца, Гц	Частота тел качения, Гц	Частота сепаратора, Гц
3182118	497,1	410,3	180,7	15,8
8118	453,7	453,7	177,5	17,45
46117Л	408,1	324,7	137,2	15,4
46120	425,8	341,9	142,9	15,5

На рисунке 2 представлены спектр огибающей и прямой спектр вибросигнала, полученного вблизи подшипника 3182118.

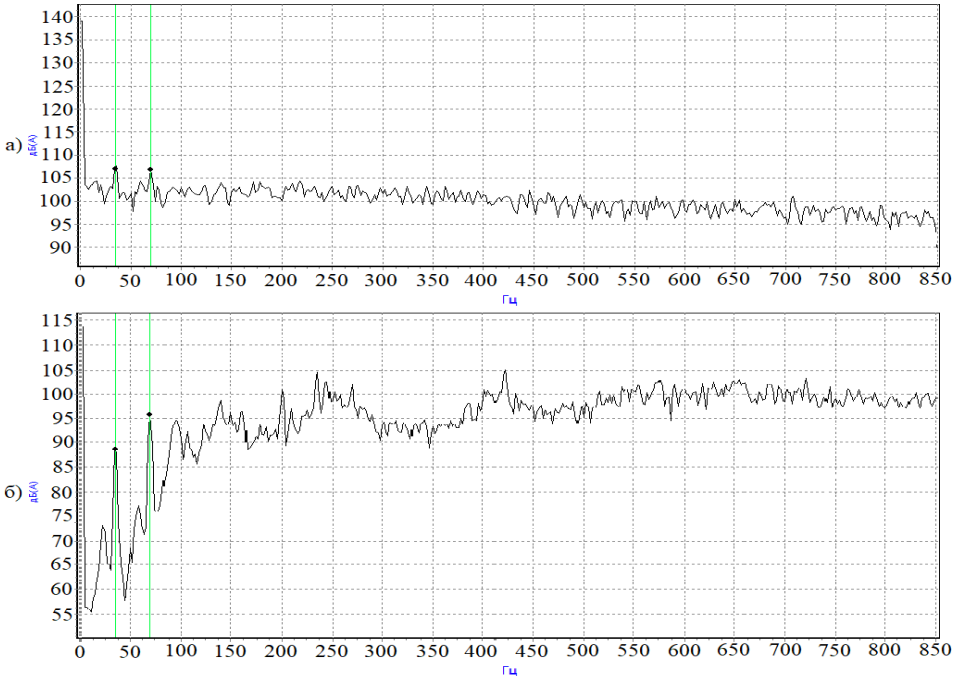


Рис. 2. Спектр огибающей (а) и прямой спектр (б), полученный вблизи подшипника3182118

На спектре огибающей проявились частоты 34,9Гц и 69,7Гц - соответствующие первой и второй гармонике оборотной частоты. Гармоники частоты вращения могут свидетельствовать о наличии биения или дисбаланса вала. Однако, амплитуды проявившихся пиков на спектре огибающей невелики,что позволяет сделать вывод о незначительном уровне дефекта. Прямой спектр в данном исследовании использовался в качестве дополнительного фактора повышающего достоверность диагностирования.

Спектр огибающей вибросигнала, полученного вблизи подшипника 8118 так же, проявил частоты 34,9Гц и 69,7Гц соответствующие первой и второй гармоникам оборотной частоты. А спектр огибающей вибросигнала, вблизи подшипника 46117Л проявил только первую гармонику оборотной частоты, что свидетельствует о биении или дисбалансе вала. Спектр огибающей вибросигнала, вблизи подшипника 46120 и зубчатого зацепления 42/41 аналогично, проявил первую гармонику оборотной частоты и не проявил зубцовые частоты, что говорит о малом износе зубчатого колеса.

На основании исследования было подготовлено общее заключение по ШУ:

– Состояние всех подшипников оценивается как хорошее и не требуется их замена в ближайшее время

– На шпиндельном валу присутствует незначительное биение или дисбаланс. Рекомендуется провести проверку биения по ГОСТ Р ИСО 230-1-2010. В случае если биение соответствует допустимым значениям, то узел так же не требует вмешательства.

Анализ вибраций других узлов станка показал следующее. Были выявлены значительные дефекты в передней опоре ходового винта и ШВП по оси X, а именно критический износ дорожек качения внутреннего кольца, а также износ тел качения и резьбовых дорожек гайки и винта ШВП. Данные элементы рекомендовалось заменить. В остальных узлах были найдены слабые и средние дефекты, требующие периодического контроля их развития.

На основании заключения по результатам диагностирования на предприятии было принято решение отложить капитальный ремонт и заменить только те узлы, в которых обнаружены серьезные дефекты. Это позволило значительно сэкономить денежные и временные ресурсы предприятия, а также выполнить существующие заказы в срок в условиях большой загрузки оборудования. В настоящее время станок продолжает исправно работать после проведенного ремонта, повторная диагностика назначена через 1000 часов работы.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 06.11.2021 № 3142-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности» // Собрание законодательства РФ. 15.11.2021. №46. Ст.7771.

2. Костюков В.Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие. 2011. 360 с.

3. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С., Порватов А.Н. Диагностика и сертификация металлорежущего оборудования. М.: Инновационное машиностроение. 2017. 240 с.

4. Русов В.А. Спектральная вибродиагностика. - Пермь.: Вибро-центр., 1996. 175 с.

5. Сабиров Ф.С., Молодцов В.В. Методы вибрационных измерений в станкостроении. Главный метролог. 2019. № 6 (111). С. 32-40.

УДК 621.9.06

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛОВОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ В ПРОГРАММНЫХ СРЕДАХ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шлаев К.И.

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

E-mail: kir.shl@ya.ru

SIMULATION EXPERIMENT TO DETERMINE THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN ANGULAR MILLING HEAD IN 3D MODELING PROGRAMS

Shlaev K.I.

Moscow State University of Technology “STANKIN”, Moscow, Russia

E-mail: kir.shl@ya.ru

Аннотация. Для расширения технологических возможностей металлорежущих станков используются угловые фрезерные головки, которые обеспечивают возможность обработки деталей сложной формы. Однако, необходимо учесть влияние такого оборудования на динамические характеристики станка. В некоторых случаях использование угловых головок снижает динамическое качество станка. В настоящей работе рассмотрены результаты моделирования динамических характеристик угловой фрезерной головки в программных средах 3D моделирования NXCAD, Solid Works и Autodesk Inventor. Выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Выявлена разница смоделированных собственных частот и частоты, полученной методом прямого эксперимента.

Ключевые слова: угловая фрезерная головка, вибродиагностика, динамическая характеристика, имитационное моделирование, собственная частота.

Abstract. Angular milling heads expand the capabilities of machine tools. It is necessary to take into account the impact of such equipment on the dynamic characteristics of the machine. In some cases, the use of angular milling heads reduces the dynamic quality of the machine. In this paper, the results of modeling the dynamic characteristics of an angular milling head in NX CAD, Solid Works and Autodesk Inventor 3d modeling programs are considered. The results obtained were compared with experimental data. The data obtained by simulation modeling differ from the

data obtained by the experimental method. This is due to the different ways of obtaining the equation of motion in program solvers.

Keywords: angular milling head, vibroacoustic diagnostics, dynamic characteristics, simulation modeling, natural frequency.

При проведении ремонта угловой фрезерной головки Alberti T90-8 был проведен обмер ее составных частей [1]. По полученным размерам в программной среде SolidWorks разработана параметрическая 3D модель.

В дополнение, модель была конвертирована в формат STEP. Перевод в данный формат позволяет провести исследование в программах NX CAD и AutodeskInventor.

Интерес при моделировании представляют численные значения собственных частот. Помимо вычисления собственных частот выполнено моделирование собственных форм колебаний. Собственная частота позволяет оценить общее состояние упругой системы [2-4].

Алгоритм решения задачи следующий. В начале исследования 3D модели задавались граничные условия. В данном случае задается фиксация шпинделя как неподвижного элемента. Для имитации нагрузки на инструмент в зоне оправки задается крутящий момент 1000 Н/м (рисунок 1).

Следующим шагом является создание конечно-элементной сетки. В различных программах 3D моделирования настройки сетки отличаются. Однако основные параметры, такие как форма конечного элемента, размер и плотность сетки идентичны [5]. В программных средах моделирования устанавливались аналогичные характеристики сетки. После указания всех параметров, запускается процесс генерации сетки конечных элементов. Время формирования сетки в программе AutodeskInventor составило 4 мин, в программе Solid Works - 6 мин, в программе NX CAD - 8 мин.

Сравнивая полученные результаты отметим, что в программных средах AutodeskInventor и Solid Works сетка получилась аналогичной (рисунок 2).

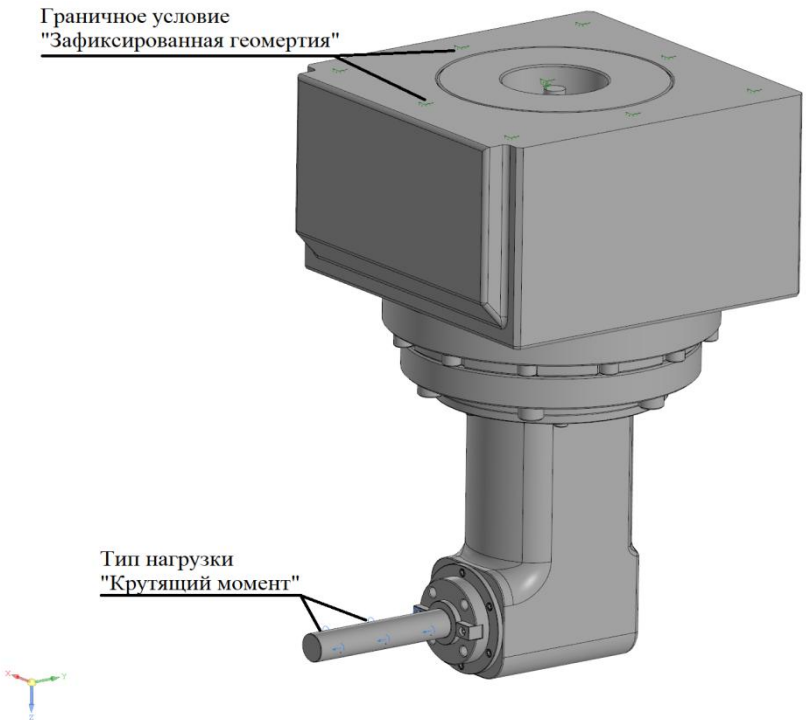


Рис. 1. Задание ограничений и приложенная нагрузка

В программе NX CAD конечные элементы минимального размера сформированы не только в стыках и деталях малого размера, но и по всей поверхности 3D модели. Этим можно объяснить наибольшее время создания сетки.

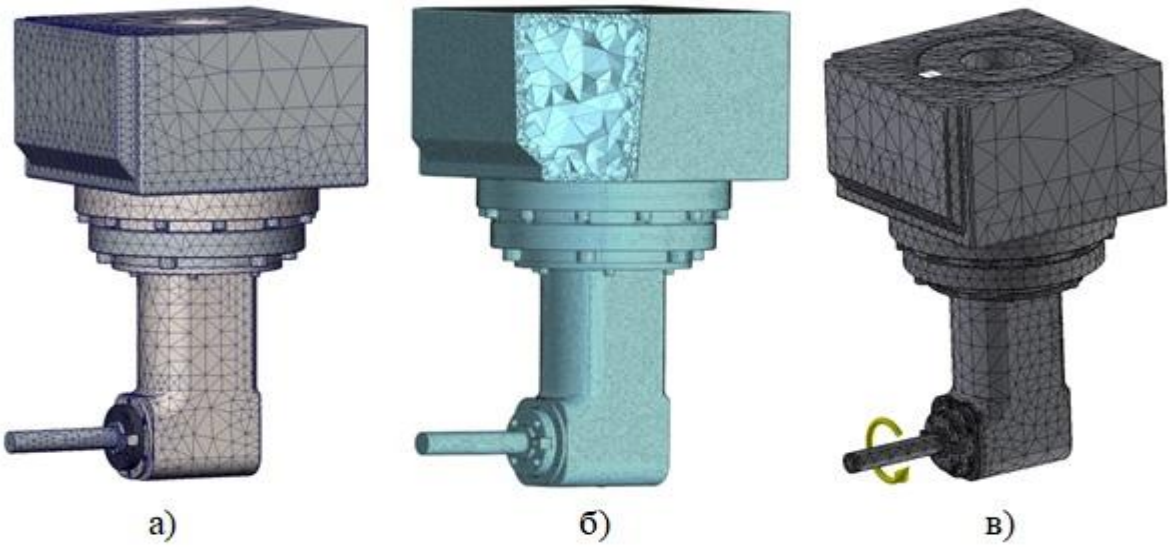


Рис. 2. Сетка конечных элементов, сгенерированная в программах
а) Solid Works б) NX CAD в) Autodesk Inventor

Следующим шагом является выполнение расчета собственных частот и форм колебаний. Время расчета в программе AutodeskInventor составило - 24

мин. SolidWorkszавершил расчет за 32 мин, NX CAD - за 43 мин. Длительное время можно объяснить большим числом конечных элементов в сетке. После окончания получаем собственные формы колебаний (рисунок 3) и таблицу собственных частот (таблица 1).

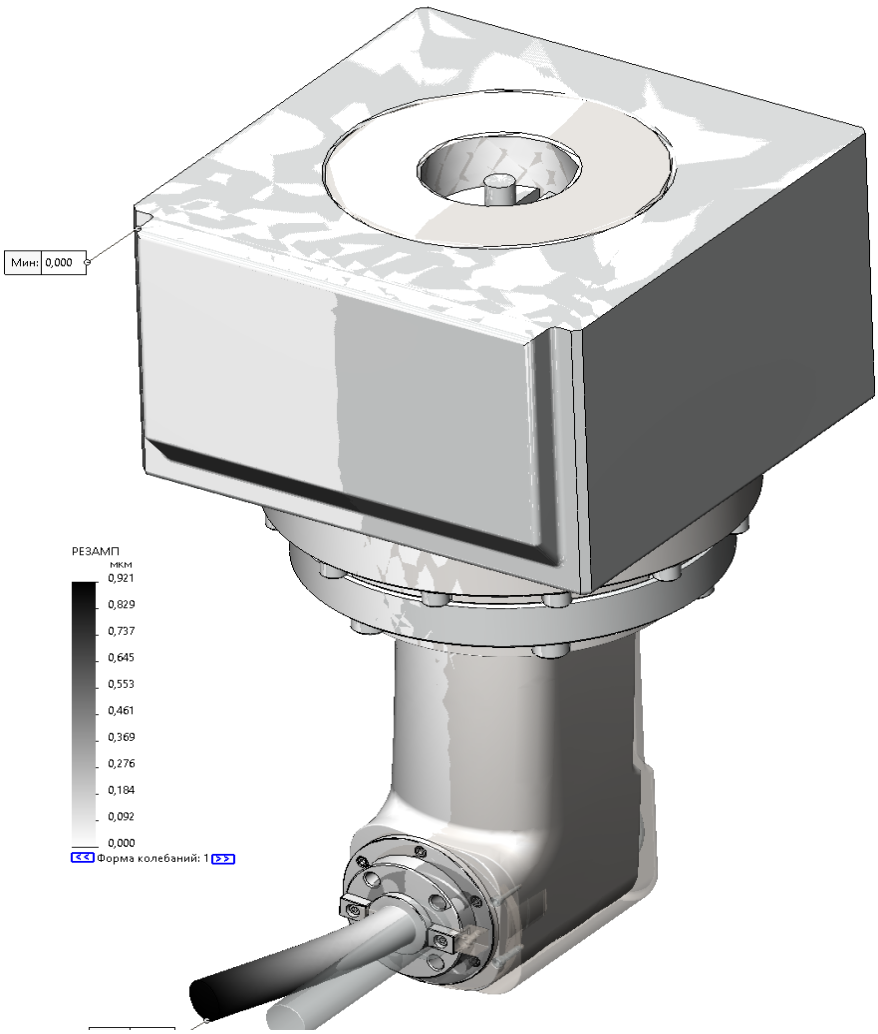


Рис.3. Первая форма колебаний, полученная в программе SolidWorks

Для оценки адекватности полученных данных, проведено сравнение с данными (рисунок 4), полученными при проведении экспериментального исследования угловой головки [1].

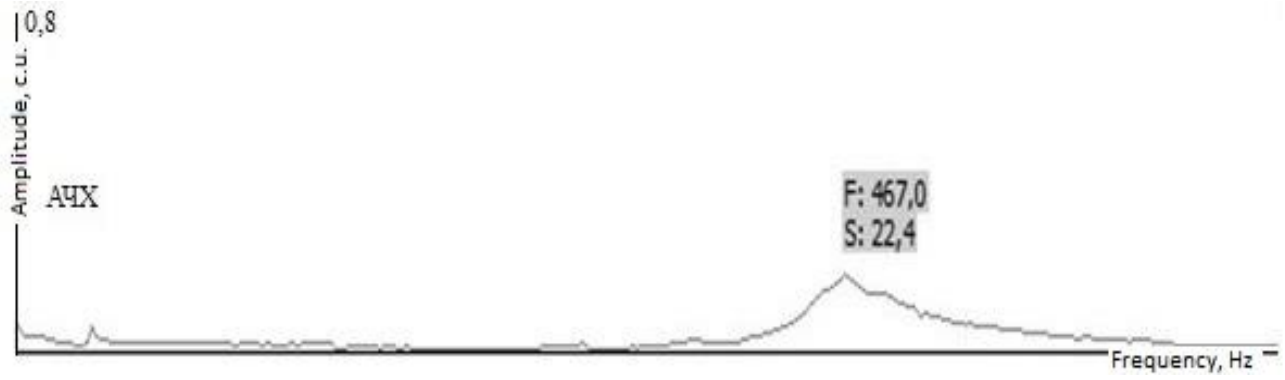


Рис.4. АЧХ угловой головки, полученная в результате эксперимента

Сравнение первой собственной частоты, полученной в различных программах и экспериментально, приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение первой собственной частоты

Среда моделирования	Смоделированная первая собственная частота, Гц	Первая собственная частота, полученная экспериментально, Гц	Разница в процентах
NX CAD	511,4	467,0	8,7%
Solid Works	519,8		10,2%
Autodesk Inventor	522,3		10,7%

Из таблицы 1 видно, что разница в результатах доходит до 10,7%. Отличия, предположительно, вызваны тем, что у примененных программ отличаются методы составления уравнения движения. Это говорит о том, что необходима разработка более точной программы для моделирования динамических характеристик угловых фрезерных головок.

Список литературы

1. K.I. Shlaev, F.S. Sabirov Research of the dynamic characteristics of the angular milling head. Modernhightechnologies. 132 (2022) 62-66.

2. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С. Испытания и диагностика технологического оборудования: учебное пособие / М.: ИЦ МГТУ «Станкин», 2012, 250с.

3. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Молодцов В.В. Диагностика состояния станков по вибрационным характеристикам // Materials. Technologies.Design. 2020. Т.2. № 1(2). С. 69-

77.4. Сабиров Ф.С., Шемякин А.А. Оперативная оценка виброустойчивости станков и состояния шпиндельных подшипников // Вестник машиностроения, №8, 2015, с. 14-16.

5.Справка по SOLIDWORKS [Электронный ресурс]. URL: https://help.solidworks.com/2016/Russian/WhatsNew/c_wn2016_new_curvature_based_mesher.htm (дата обращения 26.02.2023 г.)

УДК 579.222:579.6

ГЛИКОЛИПИДНЫЕ БИОСУРФАКТАНТЫ, ПРОДУЦИРУЕМЫЕ БАКТЕРИЯМИ РОДА *RHODOCOCCUS*: ПОТЕНЦИАЛ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Леонова Т.И.

Тульский Государственный университет, г.Тула, Россия

E-mail: tatyanka-leonova-99@mail.ru

GLYCOLIPID BIOSURFACTANTS PRODUCED BY BACTERIA OF THE GENUS RHODOCOCCUS: THE POTENTIAL OF THEIR APPLICATION

Leonova T.I.

Tula State University, Tula, Russia

E-mail: tatyanka-leonova-99@mail.ru

Аннотация. Применение синтетических поверхностно-активных соединений (СПАВ) как важных компонентов в ряде отраслей оказывает негативное воздействие на окружающую среду и живые организмы. Поэтому существует острая необходимость в альтернативных соединениях с меньшим неблагоприятным влиянием; в настоящей работе биосурфактанты (биоПАВ) рассматриваются как альтернатива синтетическим ПАВ. Приведены основные преимущества биоПАВ по сравнению с синтетическими аналогами. Высокая эффективность природных поверхностно-активных веществ связана с низкими значениями поверхностного натяжения, достигаемыми при гораздо более низких критических концентрациях мицеллообразования, чем у СПАВ. Обсуждается основная проблема, ограничивающая использование биосурфактантов, а точнее низкий выход продукции биоПАВ, которая может быть решена определением оптимальных условий штамма-продуцента биосурфактанта. Установлено, что использование подсолнечного масла в качестве источника углерода и энергии для штамма *Rhodococcuserythropolis*X5 увеличивает содержание гликолипидногобиосурфактанта в культуральной среде на 50 %.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, поверхностное натяжение, биосурфактанты, оптимизация, субстрат, продуцент, гликолипид.

Abstract. The use of synthetic surface-active compounds (surfactants) as important components in a number of industries has a negative influence on the environment and living organisms. Therefore, there is an urgent need for alternative compounds with less adverse effects; In this work, biosurfactants are considered as an alternative to synthetic surfactants. The main advantages of biosurfactants in comparison with synthetic analogues are given. The high efficiency of natural surfactants is associated with low surface tension values achieved at much lower critical micelle concentrations than with surfactants. The main problem that limits the use of biosurfactants, or rather, the low yield of biosurfactant production, is discussed, which can be solved by determining the optimal conditions for the biosurfactant-producing strain. It has been established that the use of sunflower oil as a source of carbon and energy for the *Rhodococcuserythropolis* X5 strain increases the content of glycolipid biosurfactant in the culture medium by 50%.

Keywords: surfactants, surface tension, biosurfactants, optimization, substrate, producer,glycolipid.

Поверхностно-активныевещества (ПАВ, сурфактанты) – это соединения, основнойфункциейкоторыхявляетсяснижениеповерхностногонатяжениянаграницеразделадвухфаззасчётамфифильнойструктуры. Это значит, что молекула сурфактанта имеет в своём составе полярную часть(гидрофильный компонент) и неполярную углеводородную часть (гидрофобный компонент) [1]. Синтетические ПАВ (или СПАВ) содержатся в различных моющих средствах, которые поступают в окружающую среду в значительных количествах с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами.

Важно отметить то, что процессы деградации СПАВ в природе происходит довольно медленно. Попадая в окружающую среду, ПАВ на длительное время сохраняются в ней и ухудшают при этом состояние экосистем. Отдельно следует отметить, негативное воздействие СПАВ на живые организмы [2]. Они существенно изменяют интенсивность окислительно-восстановительных реакций, влияют на активность ряда важнейших ферментов в организме, нарушают белковый, углеводный и жировой обмен. Анионогенные ПАВ способны вы-

звать серьёзные нарушения иммунитета, развитие аллергии, поражение мозга, печени, почек, легких.

С развитием биотехнологии природные ПАВ (биоПАВ) или биосурфактанты стали привлекать внимание учёных в качестве альтернативы синтетическим. БиоПАВ – это поверхностно-активные соединения, которые вырабатывают микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности. Важными преимуществами биоПАВ является отсутствие токсичности в отличие от СПАВ, биоразлагаемость и экологическая безопасность, а также они обладают высокой биосовместимостью, производятся из дешевых и возобновляемых источников, стабильны в широком диапазоне pH, солёности и температуры. Одной из важных характеристик поверхностно-активного соединения является критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Это концентрация ПАВ, при которой они собираются в мицеллы. При этом осуществляется солюбилизация и растворение гидрофобных компонентов в растворе [3]. Не мало важным преимуществом биоПАВ перед СПАВ является работа при низких значениях ККМ. Например, ККМ додецилсульфата натрия соответствует 2,4г/л, в то время как концентрация мицеллообразования биосурфактантов находится в диапазоне 0,001-2 г/л [4].

В связи с этим биосурфактанты имеют высокий потенциал и практическое значение во многих сферах жизнедеятельности: в нефтяной и добывающей промышленности, при экологически безопасных процессах очистки окружающей среды от нефти и нефтепродуктов, в химической промышленности. В химической промышленности биосурфактанты – это основные претенденты на замену синтетических ПАВ. В настоящий момент в качестве компонентов коммерческих средств биоПАВ используются ограниченным количеством зарубежных компаний, например, Henkel, Unilever и др.Они применяют гликолипидные биоПАВ в своих средствах для стирки, мытья посуды и чистки[5].Кроме этого биосурфактанты проявляют антибактериальную, противогрибковую и антиадгезивную активности, нехарактерные для синтетических

ПАВ. Поэтому биоПАВ могут использоваться при разработке новых лекарственных средств.

С каждым годом количество исследований и публикаций по изучению биоПАВ возрастает, однако, коммерческое производство таких соединений в значительной степени сдерживает высокая стоимость производства биоПАВ. Основной проблемой является их низкое содержание в культуральной среде. Поэтому приоритетным направлением исследований является повышение конечного выхода продукции биосурфактанта.

Одним из эффективных продуцентов гликолипидных биосурфактантов, является штамм *Rhodococcuserythropolis*X5. Микроорганизм способен продуцировать около 0,3 г/л биоПАВ в присутствии в среде различных гидрофобных субстратов, таких как н-гексадекан, дизельное топливо и нефть, тем самым увеличивая их биодоступность и способность к деградации. Поверхностное натяжение среды после 6 суток культивирования снижается с 72 мН/м до 27 мН/м[6]. Бактерии входят в состав биопрепарата «МикроБак», который используют для биоремедиации территорий, загрязнённых нефтью или нефтепродуктами [7].

Содержание гликолипидов в бесклеточном супернатанте увеличивается по мере роста клеток, и наибольшее значение достигается в период стационарной фазы роста бактерий, т.к. биоПАВ относятся к вторичным метаболитам. На продукцию биоПАВ влияют источник углерода, азота, их соотношение в питательной среде, аэрация, температура и другие абиотические факторы. Важнейшим фактором, влияющим на продукцию биосурфактантов, является источник углерода. В данной работе в результате сравнения н-гексадекана, олеиновая кислоты и подсолнечного масла в качестве углеродных субстратов для штамма *Rhodococcuserythropolis* X5 было установлено, что микроорганизм способен продуцировать на подсочном масле до 0,45 г/л биоПАВ. Кроме своей дешевизны подсолнечное масло не токсично, потребует меньше этапов очистки и будет более безопасно при использовании продукции биоПАВ, полученной на данном

субстрате. Подбор оптимальных условий, таких как источник азота и его концентрация, соотношение C/N в питательной среде, длительность культивирования и др. позволит в разы увеличить выход продукции гликолипидов.

Таким образом, биосурфактанты обладают рядом важных преимуществ перед СПАВ, включая биоразлагаемость и низкую токсичность, что позволяет избежать проблем, которые вызывают синтетические поверхностно-активные вещества. Однако в настоящее время проблема биосурфактантов заключается в том, что они имеют высокую стоимость производства за счёт низкого выхода продукции. Оптимизация условий культивирования бактерий-продуцентов позволит увеличить синтез продукции биоПАВ, что в дальнейшем может повлиять на широкое применения таких соединений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2021-0013 (Биокаталитические платформы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами).

Список литературы

1. Karthick A., Roy B., Chattopadhyay P. A review on the application of chemical surfactant and surfactant foam for remediation of petroleum oil contaminated soil //Journal of environmental management. 2019. V. 243. P. 187-205.

2. Johnson P., Trybala A., Starov V., Pinfield V.J.Effect of synthetic surfactants on the environment and the potential for substitution by biosurfactants //Advances in colloid and interface science. 2021. V. 288. P. 102340.

3. Van Oss C. J. Aqueous solubility and insolubility //Interface Science and Technology. Elsevier, 2008. V. 16. P. 85-111.

4. Santos D.K.F., Rufino R.D., Luna J.M., Santos V.A., Sarubbo L.A. Biosurfactants: Multifunctional biomolecules of the 21st century// Int. J. Mol. Sci. 2016. V. 17.№. 3.P. 1-31.

5. Рудакова М.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Биосурфактанты: современные тренды применения // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2021. Т. 163. №. 2. С. 177-208.

6. Лыонг Т.М., Нечаева И.А., Петриков К.В., Пунтус И.Ф., Понаморева О.Н. Бакте-

рии-нефтедеструкторы рода *Rhodococcus*-потенциальные продуценты биосурфактантов //Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. №. 1(16). С. 50-60.

7. Лыонг Т.М.,Нечаева И.А., Понаморева О.Н., Петриков К.В. Влияние температуры на способность родоккоков, входящих в биопрепарат" Микробак", продуцировать гликолипидныебиосурфактанты //Актуальная биотехнология. 2015. №. 3. С. 76-77.

УДК 620.95

МОДЕЛЬ РАСТИТЕЛЬНОГО МИКРОБНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Лепикаш Р.В., Захаров Н.С.

Тульский государственный университет, БиоХимТехЦентр, г. Тула, Россия

Email: mr.romalep@yandex.ru

THE MODEL OF PLANT MICROBIAL FUEL CELL FOR POWER GENERATION AND WASTEWATER TREATMENT

Lepikash R.V., Zakharov N.S.

Tula state university, BioChemTechCentr, Tula, Russia

Email: mr.romalep@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основы функционирования растительного микробного топливного элемента (РМТЭ). Рассмотрен принцип выбора растений, выбраны наиболее перспективные. Представлена лабораторная модель РМТЭ, где в качестве растения использовали ряску и бактерии *Pseudomonaschlororaphis*BS1393. Графитовый войлок был использован в качестве электродного материала. Максимальное напряжение РМТЭ составило 830 мВ, эффективность очистки воды от модельного ПАВ до 99,8%. Показана возможность питания различных светодиодов от четырех РМТЭ, соединенных последовательно.

Ключевые слова: возобновляема энергетика, электроактивные микроорганизмы, растительно-микробные топливные элементы, очистка сточных вод, додецилсульфат натрия

Abstract. The article discusses the basics of the functioning of a plant microbial fuel cell (PMFC). The principle of plant selection is considered, the most promising ones are selected. A laboratory model of PMFC is presented. Duckweed was used as a plant, *Pseudomonaschlororaphis*BS1393 was chosen as the bacteria. Carbon felt was used as the electrode material. The maximum voltage of the PMFC was 830 mV and the efficiency of water treatment from the model surfactant was up to 99,8%. The possibility of powering LEDs from four PMFC is shown.

Keyword: renewable energy, electroactive bacteria, plant microbial fuel cell, wastewater treatment, sodium dodecyl sulfate

В настоящее время человечество столкнулось с практически повсеместным загрязнением окружающей среды [1,2]. Для снижения ущерба природе, в частности, в энергетическом секторе набирают популярность использование возобновляемых источников энергии с помощью солнечных панелей, ветряных генераторов [3]. Но данные устройства не могут очищать, например, сточные воды. Для биологической очистки сточных вод используют гидроботанические площадки (ГБП) – инженерные системы, в которых происходят естественные процессы очистки сточных вод от загрязняющих веществ в результате жизнедеятельности высших водных растений и микроорганизмов[4]. Однако подобные системы не имеют экономической отдачи, что ограничивает их распространение в странах третьего мира. Технология растительного микробного топливного элемента позволяет генерировать электроэнергию и очищать сточные воды. Кроме того, интеграция РМТЭ возможна в гидроботанические площадки [5], при этом эффективность очистки может возрасти на 27-49% [6].

Принцип функционирования РМТЭ (рис. 1) основан на двух совместно протекающих процессах: синтез растениями ризоотложений и их использование микроорганизмами для выработки электроэнергии.

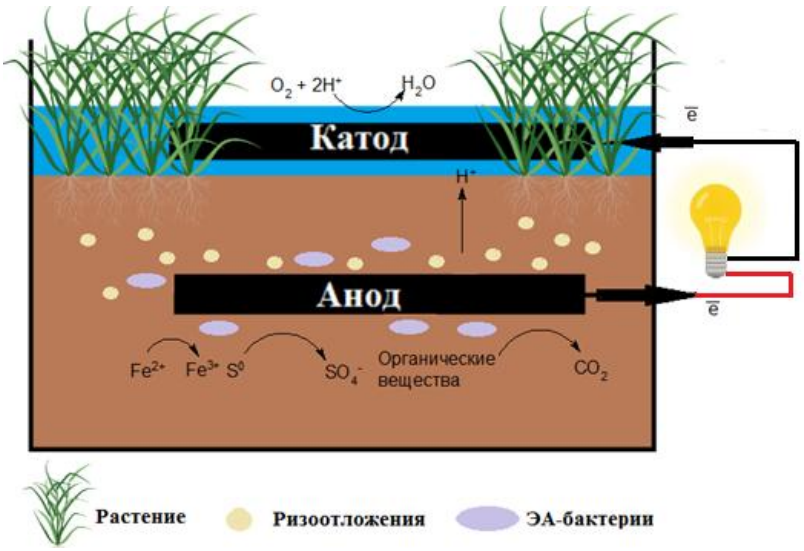


Рис. 1. Принцип работы РМТЭ

Окисляя органические вещества, электроактивные бактерии в качестве акцептора электронов используют анод. В ходе процессов окисления образуются протоны, которые мигрируют к катоду. Из-за того, что анод более электроотрицателен, чем катод, возникает разность потенциалов [7]. Электроны по внешней цепи переносятся к катоду, соединяются с протонами, образуя воду[8].

Генерация электроэнергии способна обеспечить экономическую эффективность очистки сточных води сделать данную технологию привлекательной для снабжения электроэнергией отдаленных районов страны и частных домохозяйств. Применение данной технологии возможно в небогатых странах третьего мира благодаря низкой стоимости и оказываемому экономическому эффекту[9].

Выбор растений определяется типом их фотосинтеза, устойчивостью к факторам окружающей среды и токсикантам, количеством ризоотложений и скоростью роста. К наиболее перспективным растениям можно отнести рогоз (*Typha*sp.), который давно используется в гидроботанических площадках (constructed-wetlandsystem) для очистки сточных вод [10]. Мискантус может быть использован в РМТЭ как перспективный источник биотоплива [11]. Перспективным растением является ряска (*Lemnasp*.), применение которого является актуальным в виду возможности использования в качестве корма для животных. Известно, что растение использовалось в технологии РМТЭ [12].

Важную роль в функционировании РМТЭ играют электроактивные бактерии. В ризосфере присутствуют бактерии *Desulfobulbussp., Geobactersp., Shewanellasp., Geothrixfermentans, Rhodoferaxferrireducens* и др., являющие анаэробами, и продуцирующие электроны, протоны и углекислый газ при окислении органических соединений. Важную роль в поддержании жизнедеятельности растения играют бактерии PGPR–ризобактерии, способствующие росту растений. К подобным микроорганизмам относят бактерии вида *Bacillusthuringiensis,* которые участвуют в процессах фиксации азота, обмене серой и фосфором, синтезе стимуляторов роста растений [13]. Бактерии рода *Pseudomonassp.* так же могут быть использованы как бактерии PGPR [14]. Некоторые представители рода способны к деструкции ПАВ [15,16] и могут формировать биопленки на поверхности анода, выделять соединения феназинового ряда [17], которые выступают в качестве медиатора электронного транспорта между бактериями и электродом.

В нашей лабораторией была реализована технология РМТЭ на основе ряски и бактерий *Pseudomonaschlororaphis*BS1393, предназначенная для очистки сточных вод от ПАВ. В качестве электродов использовали графитовый войлок толщиной 5 мм. Согласно полученным результатам, эффективность очистки может достигать до 99,8% за неделю функционирования, при этом исходная концентрация додецилсульфата натрия, который использовали в качестве модельного ПАВ, составляла 50 мг/дм^3. Максимальное напряжение составило 830 мВ. Была проверена возможность питания LED-диодов различной мощности. Для этого ячейки были подключены последовательно (рис. 3), что позволило получить общее напряжение 2,8 В.

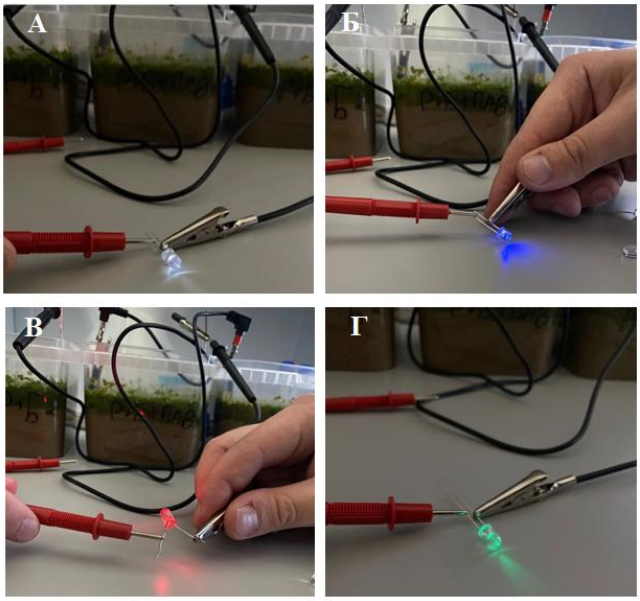


Рис. 2. Питание белого светодиода (А), питание синего светодиода (Б), питание красного (В) и зеленого (Г) светодиодов

Таким образом, была продемонстрирована практическая значимость использование РМТЭ в качестве источника напряжения. Масштабирование технологии РМТЭ и её интегрирование в ГБП позволит улучшить степень очистки сточных вод и получить экономический эффект в виде генерации электроэнергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2021-0013 (Биокаталитические платформы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами).

Список литературы

1. Карась Е. М. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами //Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего. – 2019. – С. 137-138.

2. Song F., Mehedi H., Liang, C., Meng J., Chen Z., Shi F. Review of transition paths for coal-fired power plants //Global Energy Interconnection. – 2021. – Т. 4. – №. 4. – С. 354-370.

3. Маслова Е. В., Мащенко З. Е., Шаталаев И. В. Лекарственные препараты в окружающей среде //Аспирантский вестник Поволжья. – 2017. – №. 1-2. – С. 215-217.

4. Vymazal J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience // Environ. Sci. Technol. 2011. Vol. 45, № 1. P. 61–69.

5. Yadav A.K.,Dash P., Mohanty A., Abbassi R., Mishra B. K.. Performance assessment of innovative constructed wetland-microbial fuel cell for electricity production and dye removal // Ecological Engineering. 2012. Vol. 47. P. 126–131.

6. Doherty L., Zhao Y., Zhao X., Hu Y., Hao X., Xu L., Liu R.. A review of a recently emerged technology: Constructed wetland – Microbial fuel cells // Water Research. 2015. Vol. 85. P. 38–45.

7. Apollon, W., Luna-Maldonado, A. I., Kamaraj, S. K., Vidales-Contreras, J. A., Rodríguez-Fuentes, H., Gómez-Leyva, J. F., Aranda-Ruíz, J. Progress and recent trends in photosynthetic assisted microbial fuel cells: A review // Bio-mass and Bioenergy. 2021. V. 148. P. 106028.

8. Кулешова Т.Э., Галушко А.С., Панова Г.Г., Волкова Е.Н., ApollonW., ShuangC., SevdaS. Биоэлектрохимические системы на основе электроактивности растений и микроорганизмов в корнеобитаемой среде // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т.57. №.3. С. 425-440.

9. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives / Sarwar N., Irman M., Shaheen M.R. [et al.] // Chemosphere. 2017. V. 171. P. 710–721.

10. Сивкова Е. Е., Прибыткова Е. В. Влияние рогоза широколистного (*Typhalatifolia L.*) и компонентов фильтрующей загрузки на эффективность удаления соединений азота в системах почвенно-болотной очистки сточных вод //Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – №. 2 (14). – С. 141-149.

11. Мирзоева, Т. В. Европейский опыт выращивания энергетических культур / Т. В. Мирзоева, Т. Д. Мирзоев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 5. – С. 30-33.

12. Hubenova Y., Mitov M. Conversion of solar energy into electricity by using duckweed in Direct Photosynthetic Plant Fuel Cell // Bioelectrochemis-try. 2012. V. 87. P. 185–191.

13. Treesubsuntorn C., Chaiworn W., Surareungchai W., Thiravetyan P.Increasing of electricity production from Echinodosuscordifolius-microbial fuel cell by inoculating Bacillus thuringiensis // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 686. P. 538–545.

14. Анохина Т. О. и др. Ризосферные бактерии рода Pseudomonas в современных агробиотехнологиях //Агрохимия. – 2018. – №. 10. – С. 54-66.

15. Icgen B., Salik S. B., Goksu L., Ulusoy H., Yilmaz F.Higher alkyl sulfatase activity required by microbial inhabitants to remove anionic surfactants in the contaminated surface waters // Water Science and Technology. 2017. Vol. 76, № 9. P. 2357–2366.

16. Chaturvedi V., Kumar A. Diversity of culturable sodium dodecyl sulfate (SDS) degrading bacteria isolated from detergent contaminated ponds situated in Varanasi city, India // International Biodeterioration& Biodegradation. 2011. Vol. 65, № 7. P. 961–971.

17. Arulmani S. R. B., Gnanamuthu H. L., Kandasamy S., Govindarajan G., Alsehli M., Elfasakhany A.Pugazhendhi A, Zhang H. Sustainable bioelectricity production from Amaranthusviridis and Triticumaestivum mediated plant microbial fuel cells with efficient electrogenic bacteria selections // Process Biochemistry. 2021. Vol. 107. P. 27–37.

УДК: 595.772:638.4:591.61

ИЗУЧЕНИЕ БЕЛКОВО - ЛИПИДНОГО СОСТАВА ЛИЧИНОК НАСЕКОМОГО ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА

Прокудина О.В., Песцов Г.В., Третьякова А.В.

Тульский государственный педагогический университет, г. Тула, Россия

E-mail: info@tsput.ru

STUDY OF THE PROTEIN - LIPID COMPOSITION OF THE LARVAE OF THE INSECT BLACK SOLDIER FLY

Prokudina O.V., Pestsov G.V., Tretyakova A.V.

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russia

E-mail: info@tsput.ru

Аннотация. На сегодняшний день проблема утилизации отходов является одной из наиболее актуальных. По данным Минприроды ежегодно в России образуется более 70 млн. т органических отходов. Эффективно утилизировать органические отходы можно при помощи микробиологической ферментации и личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка).

Под действием ферментной системы личинок насекомого *Hermetia illucens* органические отходы преобразуются в хозяйственно полезные продукты: зоогумус - высококачественное органическое удобрение с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, а биомасса личинок является кормом для сельскохозяйственных животных, так же из неё возможно получать белковый концентрат и жир.

Ключевые слова: чёрная львинка, органические отходы, *Hermetia illucens,* липиды, утилизация отходов.

Abstract. To date, the problem of waste disposal is one of the most urgent. According to the Ministry of Natural Resources, more than 70 million tons of organic waste are generated annually in Russia. It is possible to effectively dispose of organic waste with the help of microbiological fermentation and larvae of the insect *Hermetia illucens* (black soldier fly). Under the action of the enzyme system of the insect larvae of Hermetia illucens, organic waste is converted into economically useful products: zoohumus is a high-quality organic fertilizer with a high content of nitrogen, phosphorus, potassium and various trace elements, which can be used as a soil improver. And the biomass of larvae itself is food for farm animals, and it is also possible to obtain protein concentrate and fat from it.

Keywords: black soldier fly, organic waste, *Hermetia illucens*, lipids, waste disposal.

С каждым годом количество органических отходов растёт возрастающими темпами во всем мире. По данным Минприроды ежегодно в России образуется более 70 млн. т органических отходов. Чаще всего они подвергаются складированию на свалках, сжиганию и анаэробному сбраживанию. Однако для их переработки необходимы более эффективные методы. Переработка органических отходов с помощью личинок насекомого чёрной львинки (*Hermetia illucens*) является экологически безопасным и экономически эффективным методом, который привлекает все большее внимание во всем мире. Широкую популярность насекомое получило за счёт высокоэффективной биоконверсии различных твёрдых органических отходов, а также высокой питательности личинок с возможностью их использования в кормлении сельскохозяйственных животных и аквакультуры [7, 4]. Преимущества разведения именно мух чёрной львинки заключается в простоте их содержания в лабораторных условиях

(при соблюдении постоянной температуры в пределах 28-30°С и влажности около 70% мухи успешно размножаются) [2]. Процентное содержание различных веществ в личинках и предкуколках насекомого *Hermetia illucens* зависит от вида корма и может варьировать, но обычно они содержат около 40% белка, 30% жира, хитина 5-7%, обогащены кальцием, фосфором. К числу важных соединений относятся: сырой протеин (42%); липиды (35%); сырая клетчатка (7%); свободный экстракт азота (1,4%); зола (14,6%); кальций (5,0%); фосфор (1,5%), железо (1,0%) [5]. Биомасса личинок используется не только для получения белка, из них также выделяют меланин-хитозановые комплексы для создания антибактериальных препаратов. Именно белок, а точнее белковый концентрат, используется в качестве добавки к кормам домашних и сельскохозяйственных животных. Белковый концентрат состоит из сырого протеина (55%), сырого жира (10%), сырой золы (9%), хитина (8%), кислотное число, мг КОН/кг составляет не более 10, перекисное число, % не более 0,1 [1, 3]. Аминокислотный состав характеризуется достаточно широкой представленностью: аланин - 4,11%, аргинин - 2,84%, аспарагиновая кислота - 5,56%, валин - 2,84%, гистидин - 2,00%, глицин - 3,31%, глутаминовая кислота - 6,98%, изолейцин - 2,11%, лейцин - 3,85%, лизин - 3,51%, метионин - 1,01%, пролин - 4,08%, серин - 2,55%, тирозин - 3,61%, треонин - 2,52%, триптофан - 0,66%, фенилаланил - 2,28%, цистин - 1,07%. Также мухи вида *Hermetia illucens* являются источником получения таких продуктов, как меланин и хитин, а переработанный личинками субстрат представляет собой зоогумус, успешно применяемый как органическое удобрение [6, 9].

Вид мухи *Hermetia illucens* обитает в тропических и субтропических областях, но в последние десятилетия распространился по всем континентам, став практически космополитом. Он присутствует на большей части территории Соединённых Штатов и Европы, включая Пиренейский полуостров, юг Франции, Италию, Хорватию, Мальту, Канарские острова и Швейцарию, на Черноморском побережье России в Краснодарском крае. Также можно встретить этот

вид в Афротропическом царстве, Австралазийском царстве, восточно - Палеарктическом царстве, Неарктическом царстве, Северной Африке, Южной Африке и Индомалайском царстве. Взрослые особи *H. illucens* достигают от 15 до 20 мм в длину. Имеют преимущественно чёрное тело, с металлическими отблесками от синего до зелёного на грудной клетке и иногда с красноватым концом брюшка. Голова широкая, с очень развитыми глазами. Усики примерно в два раза длиннее головы. Ноги чёрные, только голени и лапки белые. Крылья перепончатые, в состоянии покоя они сложены горизонтально на брюшке и перекрываются [8, 10].

В ходе проведения научно - исследовательской работы, для наработки белка и жира из насекомого вида *H. illucens* использовали личинок, выращенных на различных субстратах в инсектарии ООО «Львинка» и микробиологической лаборатории ЦТП «Передовые химические и биотехнологии» ТГПУ им. Л.Н. Толстого. Целью эксперимента было определение влияния состава субстратов для получения преимущественно белкового концентрата и жира. Белковый концентрат личинок чёрной львинки используют в качестве добавки в корма домашним и сельскохозяйственным животным и для поддержания аквакультуры, а жир для производства моющих и косметических средств. Поэтому, в зависимости от вида необходимого конечного продукта, нужно составлять рацион корма личинок этой мухи.

Для определения влияния состава корма для выращивания личинок чёрной львинки на содержание в них белка и жира использовали корма, состоящие из различных органических отходов. В качестве растительных сельскохозяйственных отходов использовали измельчённую ботву томатов, ботву огурцов, ботву картофеля и солому зерновых культур. В качестве пищевых отходов использовали хлебные отходы, очистки и некондиционные фрукты и овощи, а также мясные и рыбные отходы, а в качестве отходов животноводства использовали ферментированный навоз крупного рогатого скота. В качестве контроля использовали комбикорм для кормления кур. Личинок сушили и помещали в

маслопресс по 200 г. в каждой пробе, маслопресс разделял белковый концентрат и жир, которые взвешивали, а данные статистически обрабатывали. В таблице 1 представлены данные по содержанию белка и жира в 200 г сушёных личинок.

Таблица 1

Изучение влияния состава корма на содержание белка и жира в личинках чёрной львинки (на 200 г сушёных личинок)

№	Вариант корма	Количество белка, г	Количество жира, г
1	Комбикорм (контроль)	117,08 ± 13,53	69,1 ± 6,33
2	Мясные и рыбные отходы	117,1 ± 13,53	57,9 ± 7,73
3	Растительные отходы	58,5 ± 9,65	113,1 ± 10,97
4	Хлебные отходы	80,4 ± 5,65	100,2 ± 11,7
5	Отходы животноводства	110,9 ± 10,03	58,9 ± 9,63

В результате проведённой научно-исследовательской работы, было установлено, что при использовании в качестве корма пищевых (хлебных) отходов белка было 80,4 г, а жира 100,2 г. Это связано с тем, что хлебные отходы содержат помимо растительного белка, также и большое количество сложных углеводов. Растительные отходы также богаты углеводами, поэтому, при использовании их в качестве корма можно получать больше жира (113,1 г) и меньше белкового концентрата (58,5 г). Мясные и рыбные отходы богаты белком, поэтому при использовании их в качестве корма можно получать больше белкового концентрата (117,1 г) и меньше жира (57,9 г). Интересно, что отходы животноводства на основе навоза крупного рогатого скота, подвергнутые направленной микробиологической ферментации и затем используемые в качестве корма для личинок чёрной львинки, способны превращаться в преимущественно в белок (110,9 г), жира в этом случае получается значительно меньше (58,9 г), эти показатели сопоставимы с содержанием в личинках белка и жира при кормлении их комбикормом (контроль). Комбикорм для кормления кур являет-

ся идеальным субстратом для выращивания популяции личинок насекомого *H. illucens,* но он имеет определённую цену относительно органических отходов, которые необходимо утилизировать.

Таким образом, изучение влияния состава корма на белково - липидный состав личинок насекомого *Hermetia illucens* позволяет оптимизировать процесс получения белкового концентрата и жира из личинок чёрной львинки. При выращивании личинок на специально подобранном субстрате повышается эффективность получения хозяйственно полезных продуктов, в зависимости от заданной цели. При выращивании личинок на субстратах с повышенным содержанием белка (отходы мясного и рыбного производства, а так же ферментированный навоз), белковый показатель в личинках будет выше, чем липидный. Если выращивать личинки чёрной львинки на субстратах с высоким содержанием сложных и простых углеводов (некондиционные фрукты и овощи, некондиционный хлеб и т. д.), то липидный показатель в составе личинок будет выше, чем белковый.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минпросвещения России: «Биотехнологическая утилизация органических отходов с использованием различных групп макро- и микроорганизмов и получение новых продуктов с заданными свойствами».

Список литературы

1. Антонов А. М., Lutovinovas E., Иванов Г. А., Пастухова Н. О. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе // Принципы экологии. 2017, Т. 6, № 3, С. 4–19. DOI: 10.15393/ j1.art.2017.6302.

2. Бастраков А.И., Донцов А.Е., Ушакова Н.А. Муха черная львинка Hermetia illucens в условиях искусственного разведения – возобновляемый источник меланин-хитозанового комплекса // Известия уфимского научного центра РАН. 2016, № 4, С. 77–79.

3. Песцов Г.В., Сидоров Р.А., Глазунова А.В., Бутенко С.А. Биотехнологическая утилизация органических отходов с помощью насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) // Проблемы научной мысли. 2021, Т. 7, № 4, С. 23-25.

4. Ушакова Н. А., Некрасов Р. В. Перспективы использования насекомых в кормлении сельскохозяйственных животных. Биотехнология: состояние и перспективы развития // Материалы VIII Московского международного конгресса ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д. И. Менделеева. Москва, 17–20 марта 2015 г. М., 2015. С. 147–149.

5. Dabbou S., Gai F., Biasato I., Capucchio M.T., Biasibetti E., Dezzutto D., Meneguz M., Placha I., Gasco L., Schiavone A. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. J. Anim. Sci. Biotechnol. 2018, Vol. 13, N. 10. DOI: 10.1186/s40104-018-0266-9.

6. Giannetto A., Oliva S., Ceccon Lanes C.F., de Araujo Pedro F., Savastano D., Baviera C., Parrino V., Lopardo G., Spano N.C., Cappello T., et al. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. J. Biotechnol. 2020, 307, P. 44–54. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2019.10.015.

7. Kim C., Ryu J., Jongkeun L., Kwanyoung K., Ji-yeon L., Park Y., Chung H. Use of Black Soldier Fly Larvae for Food Waste Treatment and Energy Production in Asian Countries: A Review // Processes. 2021, Vol. 7, N. 1. P. 161. DOI: 10.3390/pr9010161.

8. Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. Fuel 2011, 90, P. 1545–1548. DOI:10.1016/j.fuel.2010.11.016.

9. Mai H.C., Dao N.D., Lam T.D., Nguyen B.V., Nguyen D.C., Bach L.G. Purification Process, Physicochemical Properties, and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 2019, 96, P. 1303–1311. DOI:10.1002/aocs.12263.

10. Schiavone A., Dabbou S., De Marco M., Cullere M., Biasato I., Biasibetti E., Capucchio M.T., Bergagna S., Dezzutto D., Meneguz M.,et al. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. Animal 2018, 12, P. 2032–2039. DOI: 10.1017/S1751731117003743.

УДК 635.82:591.61

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗООГУМУСА В ГРИБОВОДСТВЕ

Третьякова А.В., Песцов Г.В., Прокудина О.В.
Тульский государственный педагогический университет, г. Тула, Россия
E-mail: info@tsput.ru

THE USE OF BIOHUMUS IN MUSHROOM FARMING

Tretyakova A.V., Pestsov G.V., Prokudina O.V.
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russia
E-mail: info@tsput.ru

Аннотация. В статье рассмотрены возможности применения продукта жизнедеятельности насекомого Черная львинка, для культивирования съедобных грибов вида Вешенки обыкновенная, шиитаке, шампиньон двуспоровый. Зоогумус образуется в результате переработки личинками черной львинки органических отходов. Были проведены исследования по изучению роста мицелия штаммов гриба вешенки обыкновенной на питательных средах с добавлением зоогумуса в различных концентрациях. Зоогумус является ценным органическим удобрением, использование которого позволяет получать продукцию высокого качества. Данная добавка является перспективной для культивирования получения мицелия съедобных грибов.

Ключевые слова: мицелий, зоогумус *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes*, *Agaricus bisporus*, черная львинка.

Abstract. The article considers the possibilities of using the insect life product Black soldier fly, for the cultivation of edible mushrooms of the species Oyster mushroom, shiitake, double-leaf champignon. Bio humus is formed as a result of the processing of organic waste by the larvae of the black lion. Studies have been conducted to study the mycelium growth of strains of oyster mushroom on nutrient media with the addition of zoohumus in various concentrations. Zoohumus is a valuable organic fertilizer, the use of which allows you to obtain high-quality products. This additive is promising for the cultivation of the mycelium of edible mushrooms.

Keywords: adhesion, extruder, material, additive technologies, modeling.

Личинки насекомого вида Черная львинка используется в биотехнологиях для переработки широкого спектра органических отходов и характеризуются высокой биологической активностью. [2]. Особенность насекомого заключается в том, что в процессе утилизации образуются полезно-хозяйственные продукты, к которым относится зоогумус. Зоогумус представляет собой сыпучую слабо слеживающуюся мелкогранулированную массу коричневого цвета, со слабым запахом аммиака, преобладающим размером частиц в 1-3 мм. Состоит из остатков непереваренного кормового субстрата, экскрементов, специфической микрофлоры и остатков внешнего хитинового покрова насекомого, как результата метаморфоза. Химический состав зоогумуса представлен в таблице 1. [3].

Таблица 1

Химический состав зоогумуса

Показатель	% содержания
Содержание органических веществ, не менее	90
Содержание гуминовых веществ, не менее	8,3-14,5
Содержание зольных веществ, не более	9
Массовая доля влаги, не более	60
pH водной вытяжки	5,6-5,8
Массовая доляобщего азота на сухое вещество, не менее	7,6-9,0%
Массовая доля фосфора общего в пересчете на P2O5 на сухое вещество	1,0-1,30
Массовая доля калия общего, в пересчете на K2O	0,40-1,20
Массовая доля тяжелых металлов на сухое вещество, не более	Ниже уровня ПДК почвы
Бактерии группы кишечной палочки, титр, г, не более	0,01
Патогенные микроорганизмы в 1000 г	Отсутствуют
Яйца и личинки гельминтов (жизнеспособные) шт/кг	Отсутствуют

Из-за большого количества питательных веществ зоогумус может быть использован для создания специальных сред для получения и выращивания мицелия съедобных грибов. Для изучения роста мицелия использовали виды *Pleurotus ostreatus* и *Lentinula edodes*, *Agaricus bisporus*. Чистой культурой ми-

целия инокулировали чашки Петри с различными питательными средами [1]. В опыте использовали 4 вида питательных сред: картофельный агар (контроль), голодный агар с добавлением 25%, 50% и 75% раствора зоогумуса. Замеры проводили на 2-е, 4-е и 6-е сутки. Чашки Петри помещали в термостат при температуре 25°С. Питательные среды автоклавировали при 1,2 атм. (60 мин).

Изучение влияния состава питательных сред на культивирование вегетативного мицелия съедобных грибов вида вешенка обыкновенная и шиитаке показало, что наиболее оптимальными является питательные среды с зоогомусу в разных концентрациях. Результаты опыта представлены в таблице 2.

Таблица 2

Изучение роста мицелия гриба *Pleurotus ostreatus, Lentinula edodes, Agaricus bisporus* на твердых питательных средах

№ п/п	Название среды	2 сутки	4 сутки	6 сутки	% к контролю
Lentinula edodes					
1	КА	6,1 ± 0,55	13,2 ± 1,18	24, 4 ± 2,16	100,00%
2	ЗГ 25%	7,3 ± 1,66	15,8 ± 1,09	32,9 ± 2,11	134,84%
3	ЗГ 50%	5,9 ± 0,33	12,1 ± 1,05	25,1 ± 2,19	102,87%
4	ЗГ 75%	4,1 ± 0,42	7,9 ± 0,46	21,9 ± 1,98	89,75%
Pleurotus ostreatus					
1	КА	9,4 ± 0,85	16,3 ± 1,57	27,2 ± 2,35	100,00%
2	ЗГ 25%	11,1 ± 0,92	23,6 ± 1,73	36,1 ± 2,60	132,72%
3	ЗГ 50%	10,4 ± 0,93	19,4 ± 1,19	29,1 ± 2,11	106,99%
4	ЗГ 75%	7,9 ± 0,59	15,1 ± 1,13	24,9 ± 2,19	91,54%
Agaricus bisporus					
1	КА	7,3 ± 0,50	14,6 ± 1,25	25,7 ± 2,31	100,00%
2	ЗГ 25%	8,8 ± 0,52	19,1 ± 1,40	31,3 ± 2,89	121,79%
3	ЗГ 50%	6,1 ± 0,59	12,1 ± 1,05	27,3 ± 1,83	106,23%
4	ЗГ 75%	5,4 ± 0,39	13,3 ± 1,16	22,6 ± 1,18	87,94%

Результаты исследования показали, для более активного развития и высокую радиальной скорости радиального роста мицелия съедобных грибов, под-

ходят питательные среды с содержанием 25% раствора зоогумуса. Диаметр колоний вида *Lentinula edodes* в опытных вариантах был выше на 34%, вида *Pleurotus ostreatus* был выше на 32%, для *Agaricus bisporus* на 21%. Однако наилучшее качество мицелия было в вариантах 3 (ЗГ 50%). Мицелий был стелющимся и плотным. В результате проведенного исследования можно сделать следующий вывод, что перспективными питательными средами для культивирования мицелия съедобных грибов вида *Pleurotus ostreatus, Lentinula edodes, Agaricus bisporus* являются среды с добавлением зоогумуса в количестве 25%. На этих средах отмечали достаточно высокую скорость роста мицелия и его хорошее качество.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минпросвещения России: «Биотехнологическая утилизация органических отходов с использованием различных групп макро- и микроорганизмов и получение новых продуктов с заданными свойствами».

Список литературы

1. Бисько Н.А., Дудка И.А. Биология и культивирование съедобных грибов рода вешенка. Киев: Наук. думка, 1987. 148 с.

2. Песцов Г.В., Сидоров Р.А., Глазунова А.В., Бутенко С.А. Биотехнологическая утилизация органических отходов с помощью насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка). Проблемы научной мысли. 2021. Т. 7. № 4. С. 23-25.

3. Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М., Святченко А.В. Использование зоокомпоста культивирования личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании огурцов. Вестник аграрной науки. 2021. № 1 (88). С. 56-62.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В РАЗРАБОТКЕ, ПРИМЕНЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БПЛА

УДК 004.891, 69

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА НЕДВИЖИМОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Долженко А.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

г.Белгород, Россия

E-mail: da7182@mail.ru

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES FOR EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE LIFE CYCLE OF THE OPERATED REAL ESTATE OBJECT BY HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES OF AUTOMATED NEURAL NETWORK FLAW DETECTION

Dolzhenko A.V.

Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

E-mail: da7182@mail.ru

Аннотация. Строительно-техническая дефектоскопия на стадии эксплуатации жизненного цикла зданий является основным способом выявления дефектов, прогнозирования их появления и развития, тем самым продлевая срок безотказной эксплуатации здания и составляющих его строительных конструкций путем своевременного принятия решения о необходимости выполнения ремонтно-восстановительных работ и устранения источников повреждений. Процесс дефектоскопии сопряжен с необходимостью выполнения однотипных действий по выявлению дефектов, определению их геометрических параметров зачастую в неблагоприятных условиях, связанных с риском для жизни и здоровья эксперта. В настоящей

работе рассмотрены способы автоматизации процессов строительно-технической дефектоскопии зданий и сооружений с использованием беспилотных летательных аппаратов и глубоких сверточных нейронных сетей. Предложенный способ основан на создании автоматизированного аппаратно-программного комплекса, позволяющего детектировать, оценивать и прогнозировать развитие дефектов строительных конструкций зданий с минимальным вовлечением строительного эксперта в процесс их обследования.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, дефектоскопия, строительно-техническая экспертиза, нейросети, распознавание, сегментация, дефект, глубокое обучение, жизненный цикл.

Abstract. Detection of defects of construction facilities at the exploitation stage of the life cycle of buildings is the main way to identify defects, predict their occurrence andexpansion, thereby prolonging the period of trouble-free exploitation of the building and its constructive elements by timely making a decision to perform repair and restoration work and eliminate sources of damage. The process of construction facilities detection involves the need to perform the same type of actions to identify defects, determine their geometric parameters, often in adverse conditions associated with the risk to the life and health of the expert. In this paper, methods of automating the processes of construction and technical construction facilities detection of buildings and structures using drones and deep convolutional neural networks are considered. The proposed method is based on the creation of an automated hardware and software complex that allows detecting, evaluating and predicting the development of defects in building structures with minimal involvement of a expert in the process of their inspection.

Keywords: inspection, aerial photography, construction and technical expertise, neural networks, recognition, segmentation, defect, deep learning, object life cycle.

Стадия эксплуатация жизненного цикла объекта недвижимости является самой продолжительной, при этом её продолжительность напрямую зависит от своевременности выявления дефектов и повреждений и выполнения ремонтно-восстановительных работ [1]. Причинами возникновения дефектов строительных конструкций чаще всего являются ошибки, допущенные при проектировании и строительстве зданий, недостаточное качество строительных материалов, внешние атмосферные и иные воздействия, а также недостаточный уход за строительными конструкциями на стадии эксплуатации здания. По опасности для строительных конструкций дефекты различаются существенно, однако же

чаще всего прежде чем стать существенно опасным для объекта, дефект проходит несколько стадий развития. Развитие дефектов строительных конструкций после возникновения может происходить как линейно, так и лавинообразно, приводя к катастрофическим последствиям. Это напрямую зависит от оперативности обнаружения дефекта, своевременности принятия мер по устранению источника возникновения дефекта и самого дефекта.

В инженерной практике детектирование дефектов выполняется экспертами в процессе строительно-технической экспертизы, инициатором которой является собственник объекта недвижимости [2]. Оценка поврежденности строительных конструкций выполняется экспертом как визуально, так и с использованием специальных приборов и оборудования. При этом экспертом проводится множество однотипных рутинных действий (фиксация, определение геометрических параметров, фиксирование дефектов в виде графических схем расположения дефектов и таблиц дефектных ведомостей). Точность фиксации дефектов зависит от компетенций эксперта, его усталости и отвлекающих от работы факторов, к которым, несомненно, относятся опасные факторы, такие как необходимость работать на высоте, в плохих погодных условиях.

Следует отметить, что результаты экспертизы, а также мониторинга объекта весьма субъективны и при повторном её проведении другим экспертом результаты могут отличаться значительно [3].

Другим, усложняющим своевременное проведение экспертизы, фактором является нежелание большинства собственников нести материальные затраты на создание технической документации (заключения по результатам строительно-технической экспертизы). Чаще всего при появлении дефектов, собственником выполняются ремонтно-восстановительные работы, устраняющие сам дефект, а не источник его возникновения, что в большинстве случаев не снижает скорость его развития. Кроме вышесказанного, это вызвано еще и высокой, стоимостью экспертных услуг.

Основываясь на многолетнем практическом опыте, сотрудниками кафедры экспертизы и управления недвижимостью БГТУ им. В.Г. Шухова разработан аппаратно-программный комплекс проведения строительно-технических экспертиз, осуществляющий выявление и оценку геометрических параметров дефектов строительных конструкций на фотографиях, полученных с беспилотных летательных аппаратов с помощью обученной глубокой сверточной нейронной сети [4]. Блок-схема принципиального устройства аппаратно-программного комплекса представлена на рисунке 1.

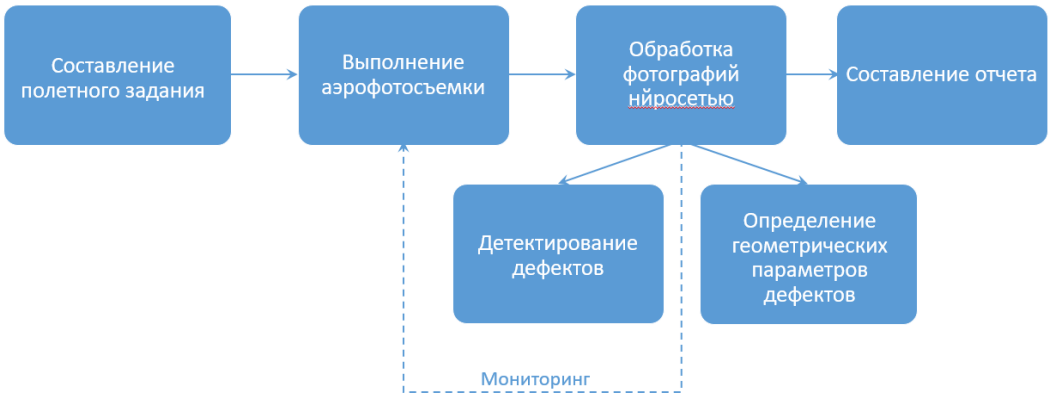


Рис.1. Блок-схема устройства АПК АСТД

Верификация предложенного способа проводилась на объектах строительно-технической дефектоскопии Белгородской области, Республики Крым и Чукотского автономного округа. Среди дефектов, распознаваемых аппаратно-программным комплексом следует отметить дефекты плоских рулонных кровель (вздутие, растрескивание, разрывы, отслоение, биологическое повреждение и пр.), трещины в ограждающих конструкциях зданий и коррозионное повреждение стальных конструкций (см. рис. 2 - 3).

а) *б)* *в)*

Рис. 2. Пример распознавания дефектов плоской рулонной кровли

а – исходная фотография, б – бинарная маска, в – распознанный дефект

Рис. 3. Пример распознавания коррозионного повреждения

а – исходная фотография, б – бинарная маска, в – распознанный дефект

Сегментация дефектов на изображениях, полученных с БПЛА осуществляется с помощью глубоких сверхточных нейронных сетей, которые позволяют автоматически выявлять на изображениях особенности текстуры и другие характерные особенности дефектов на изображениях. Качество распознавания достигается увеличением количества обучающих выборок (датасета), мерой качества распознавания является мера Dice[5], стремящаяся к 1 [6] с увеличением количества обучающих выборок (см. рис. 4).

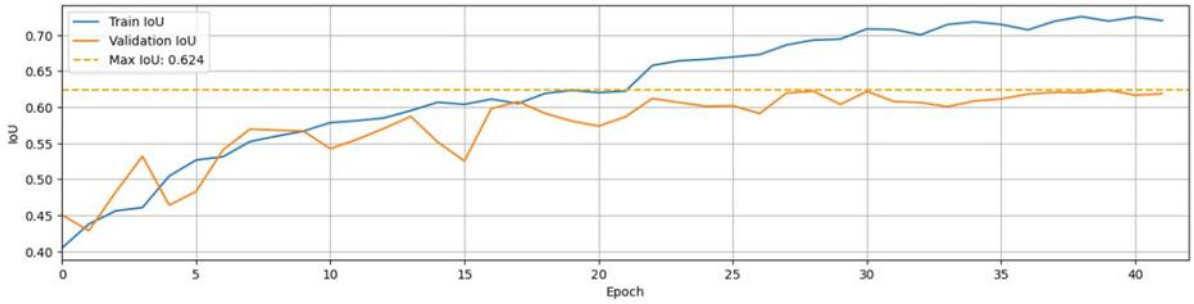


Рис.4. Обучение глубокой сверточной нейронной сети на 40 эпохах

Разработанный авторами аппаратно-программный комплекс автоматизированной дефектоскопии позволяет с приемлемой точностью распознавать дефекты строительных конструкций на аэрофотоснимках, получаемых с помощью БПЛА, их геометрически параметры, анализировать развитие дефектов во времени, автоматически рассчитывать сметную стоимость ремонтно-восстановительных работ и прогнозировать развитие выявленных дефектов во времени. Применение разработанного комплекса позволит повысить эффективность управления недвижимостью и существенно продлить срок эксплуатации здания за счет своевременного детектирования дефектов и прогнозирования их развития. Использование алгоритмов нейросетевого распознавания при экспер-

тизе технического состояния здания позволит собственнику объекта недвижимости эффективнее расходовать денежные средства на ремонто-восстановительные работы, заранее планировать их выполнение. Внедрение аппаратно-программного комплекса в инженерную практику позволит снизить стоимость экспертных работ, повысить их качество, достоверность и скорость проведения.

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Грабовый, П. Г. Управление недвижимостью в России на современном этапе: теория, практика, перспективы развития / П. Г. Грабовый // Недвижимость: экономика, управление. – 2007. – № 1-2. – С. 9-10.

2. Грабовый, П. Г. Система экспертиз недвижимости и их содержание / П. Г. Грабовый // Цифровое будущее инновационной экономики России : межвузовский сборник научных трудов и результатов совместных научно-исследовательских проектов. – Москва: Издательство "Аудитор", 2018. – С. 89-95.

3. Наумов А. Е., Юдин Д. А., Долженко А. В. Совершенствование технологии проведения строительно-технических экспертиз с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. №. 4. С. 61-69.

4. Наумов А. Е., Юдин Д. А., Долженко А. В., Прахова А. А., Кучеренко А. С. Интеллектуализация технологических процессов строительно-технической экспертизы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. №. 12. С. 28-38.

5. Yudin D.A., Magergut V.Z. Segmentationof sintering images using texture analysis based onself-organized maps // Information technologies.2013. Vol. 5. Pp. 65–70.

6. He Y. Deep Learning Tutorial for Kaggle. Ultrasound Nerve Segmentation competition, using Keras. Xi'an Jiaotong University https://github.com/yihui-he/u-net.

УДК 629.7

ВИРТУАЛЬНЫЙ СИМУЛЯТОР «DRONEFLY» КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ЖЕСТКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ В СФЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА

Кокорев А.Р., Киреев А.А., Николашин В.П.

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

E-mail: nero-68rus@mail.ru, tema_kireev@mail.ru, nikolashin.vadim@yandex.ru

VIRTUAL SIMULATOR «DRONEFLY» AS A TOOL FOR THE DEVELOPMENT OF RIGID COMPETENCIES IN THE FIELD OF UAV APPLICATION

Kokorev A.R., Kireev A.A., Nikolashin V.P.

Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

E-mail: nero-68rus@mail.ru, tema_kireev@mail.ru, nikolashin.vadim@yandex.ru

Аннотация. В статье изучается проблема развития рынка БПЛА. Особое внимание уделяется теме развития прикладных программ, в том числе симуляторам полета дронов. В качестве примера приводится кейс ТГУ имени Г.Р. Державина «DRONEFLY».

Ключевые слова: БПЛА, БВС, «DRONEFLY», «DroneCamp», витруальный симулятор.

Abstract. The article studies the problem of UAV market development. Particular attention is paid to the development of application programs, including drone flight simulators. As an example, the case of TSU named after G.R. Derzhavin «DRONEFLY» is given.

Keywords: UAV, «DRONEFLY», «DroneCamp», virtual simulator.

За последние пять лет значительно возросла популярность малых беспилотных летательных аппаратов с дистанционным управлением и, в частности, мультикоптеров. «Стоимость доли России в мировом рынке БАС сопоставима с долей страны в общемировом ВВП и составляет 2 % (9,5 млрд. руб.) по итогам 2017 года. При этом ожидается, что к 2025 году она составит 3 %, а потенциал

российского рынка БАС оценивается в 1 млрд. долларов США. Рынок БАС растет быстрее, чем экономика России в целом. Так, среднегодовой прирост выручки компаний составил 15,1% в 2019–2021 годах, тогда как среднегодовой прирост ВВП – 9,3» [3].

Рост рынка услуг беспилотников говорит о том, что профессии, в которых они используются, можно считать одними из самых перспективных и высокооплачиваемых. Специальность «Оператор БПЛА» вошла в ТОП-3 востребованных профессий России. В том числе на это повлияло и изменение внешнеполитический ситуации.

Ввиду этого прогнозируется рост потребности практикоориентированых онлайн-курсов на рынке.

Современные БВС представляют собой наукоемкую, высокотехнологичную область, и занимают одно из ведущих направлений развития авиатранспорта [2]. При этом интегративные технологии, обеспечивающие повышение эффективности развития данного направления научно-технического прогресса, требуют расширения программных и методологических подходов.

Проект «DroneCamp» ТГУ имени Г.Р. Державина является системной программой, направленной на развитие знаний, умений, навыков в области конструирования и эксплуатации беспилотников в различных отраслях экономики. Она включает в себя модули по сборке, пилотированию, обработке информации и проектной деятельности, а также виртуальные симуляторы для приобретения компетенций и по сборке и эксплуатации БПЛА мультироторного типа в различных погодных условиях.

Ранее школа проводилась в офлайн формате, однако пандемия 2020-2021 гг. внесла коррективы в реализацию данного проекта, позволила выявить острую необходимость для проведения обучения в онлайн формате. Если теоретическую часть можно заменить видеолекциями, то проблема с практическими занятиями особо актуальна.

Для реализации онлайн школы создается симулятор сборки и полетов на квадрокоптере. Основная причина – не повредить настоящий квадрокоптер во время обучения полету в полевых условиях. В симуляторе, как в обычной игре, в случае «Game Over» пользователь просто продолжит с того места, на котором остановился, или начнет заново.

Хороший симулятор дрона может помочь интенсивно развивать свои навыки в аэрофотографии, FPV-гонках, съёмках видео на различных моделях беспилотников. При правильном использовании данные симуляторы позволяют развивать мышечную память и координацию «глаза-руки». Они будут особенно полезны для начинающих операторов дронов, однако помогут и более опытным гонщикам.

Реализация данной программы дает возможность приобретения навыков по сборке модели БВС и пилотирования с учетом физики поведения модели и регулируемых погодных условий. В сборку входит возможность воспользоваться готовым набором комплектующих или попробовать подобрать их самому, так же предполагается наличие так называемой мастерской, где желающие смогут самостоятельно создать свои комплектующие. Раздел пилотирования предлагает различные варианты полетов – FPV полет или от 3-его лица. Далее идет выбор локации и настройки эмуляции погодных условий. В будущем предполагается возможность программирования автопилота для выполнения автоматических полетов. «Процесс автоматического управления и самолетовождения осуществляет стабилизацию летательного аппарата в зависимости от режима по крену, тангажу, скорости, высоте и курсу» [1].

На рынке симуляторов уже присутствуют игроки, но все они являются зарубежными, либо не обладают полным набором возможностей, планируемых в нашем симуляторе, либо узко заточенные как DJI flightsimulator, к тому же процессу сборки не обучает ни один из них.

Список литературе

1. Макаров И.В. Имитационное моделирование полета комплекса беспилотного летательного аппарата// Авиационная и ракетно-космическая техника. 2020. С. 78-82;

2. Просвирина Н. В. Анализ и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов// Московский экономический журнал №10 2021 . С. 560-573. С. 560. С. 79;

3. Состояние и тенденции развития рынка беспилотных авиационных систем в мире и России. 2022- 72 с. С. 18.

УДК 629.4.035

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ

Петропавловский О.И., Шалынков С.А., Морозов В.В.
Тульский государственный университет, г. Тула, Россия
E-mail: mrdragonorg@outlook.com

ENGINE THRUST DETERMINATION

Petropavlovsky O.I., Shalynkov S.A., Morozov V.V.
TULA STATE UNIVERSITY, Tula, Russia
E-mail: mrdragonorg@outlook.com

Аннотация. В работе представлены результаты расчета тяги винта при помощи аналитического метода расчета, численного метода расчета в программном комплексе Ansys Fluent и натурного эксперимента и их сравнение. Существует множество методик расчета воздушного винта летательных аппаратов, но большинство из них включают в себя разработку профиля винта и изготовление данных винтов для натурных испытаний, что нецелесообразно на этапе проектирования, поэтому целью этой статьи есть подтверждение верности расчетов винта с отличными от стандартных геометрических характеристик, а также изготовление подобного винта при помощи 3D-печати и проведение натурного эксперимента. Особенностью данной статьи является проведение всех трех расчетов, которые используются

на этапе общего и эскизного проектирования изделия, а также на этапе отработки прототипа и его узлов.

Ключевые слова: тяга винта, аналитический расчет, численный расчет, натурный эксперимент, коэффициент тяги

Abstract. This paper presents the results of calculating the propeller thrust using analytical calculation method, numerical calculation method in the Ansys Fluent software package and full-scale experiment, their comparison. There are many methods for calculating propeller thrust of aircrafts, but most of them involve designing a propeller profile and manufacturing these propellers for full-scale tests, which is not reasonable at the design stage, so the purpose of this article is to confirm the accuracy of calculations of a propeller with geometric characteristics different from standard ones, as well as to manufacture such a propeller using 3D printing and conducting a full- scale experiment. The peculiarity of this article is to carry out all three calculations, which are used at the stage of general and conceptual design of the product, as well as at the stage of testing the prototype and its components.

Keywords: propeller thrust, analytical calculation, numerical calculation, full-scale experiment, thrust factor

Целью работы является определение тяги двигателя разными способами и сравнение их с натурным экспериментом для определения точности каждого.

Для расчета возьмем винт 11 дюймов с шагов 7 дюймов со следующими характеристиками (рис. 1, табл.1), используемое сечение винта Clark Y.

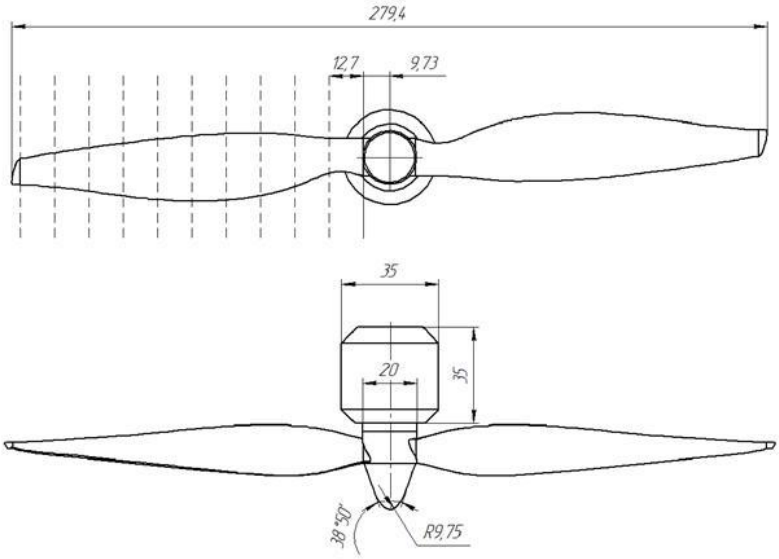


Рис.1. Эскиз винта 11x7 и двигателя

Таблица 1

Характеристики винта по сечениям

r, мм	r/R	Хорда c,мм	c/R	Угол нижней точки касания β, °	Угол хорды, °
9,73	0,070	16,054	0,115	38,712	29,458
22,43	0,161	19,840	0,142	42,696	48,746
35,13	0,251	26,380	0,189	39,003	43,659
47,83	0,342	29,405	0,210	35,115	37,609
60,53	0,433	29,565	0,212	31,466	33,423
73,23	0,524	28,046	0,201	27,987	29,588
85,93	0,615	25,039	0,179	25,212	26,417
98,63	0,706	21,384	0,153	23,137	23,943
111,33	0,797	17,452	0,125	20,615	21,807
124,03	0,888	13,510	0,097	18,134	19,343
136,73	0,979	9,850	0,071	9,553	11,082

Сила тяги винта возникает в результате действия аэродинамической силы ΔR на элемент лопасти винта при его вращении. Суммируя силу тяги отдельных элементов лопасти винта и приложив ее к оси вращения, получим силу тяги винта P. Тяга винта зависит от диаметра винта D, числа оборотов в секунду n, плотности воздуха ρ и подсчитывается по формуле:

$$PP = CC_{TT} \cdot \rho\rho \cdot nn^2 \cdot DD^4 = 0{,}115 \cdot 1{,}225 \cdot 150^2 \cdot 0{,}2794^4 = 19{,}3 \text{ Н} = 1{,}97 \text{ кгс},$$

где: CC^{TT} – коэффициент тяги, определяемый экспериментально для каждого винта. Для определения коэффициента тяги найдем схожий винт из таблицы винтов – APC Thin electric 11x7. Его статический коэффициент тяги изображен на рисунке 2.

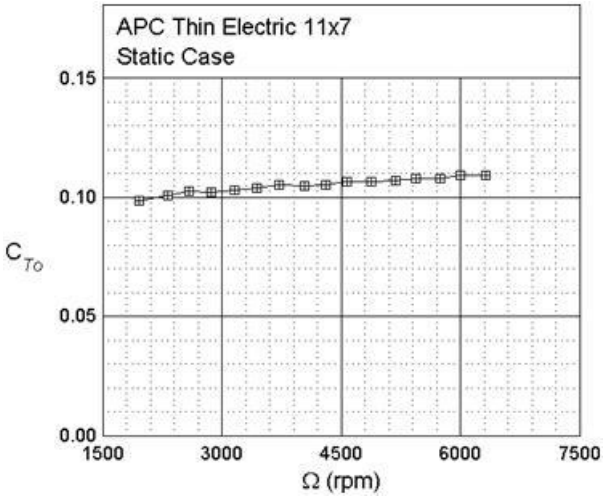


Рис. 2. График зависимости коэффициента тяги от частоты вращения

Проведем расчет при помощи численного метода решения, используя программный комплекс Ansys Fluent. Расчетная модель будет выглядеть как 3 тела, в одном из которых будет находиться сам винт в виде стенки в области воздуха. Вращение этому телу можно задавать разными способами: как вращение всего тела, либо как вращение самой стенки, т.е. при помощи придаче ей радиальной составляющей. Расчетная модель изображена на рисунке 3, где диаметр области составляет D = 600 мм, а длины равны 3 калибрам винта, то есть l1 = 840 мм, l2 = 40 мм, l3 = 840 мм.

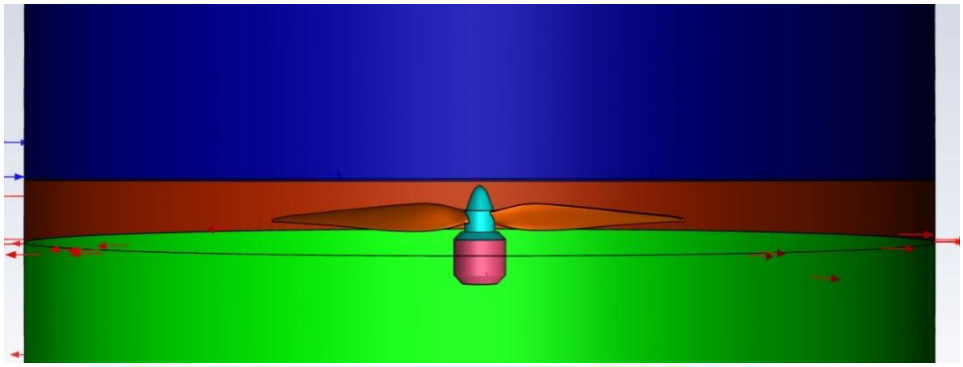


Рис. 3. Расчетная модель

Для начала расчета необходимо задать граничные условия. Вязкость воздуха рассчитывается по модели SST k-omega и закону Sutherland для газов. Плотность, теплопроводность и теплоемкость среды являются постоянными. Вращение будем придавать телу с винтом. Границы входа и выхода будут по

разнице давлений без задания избыточного давления (pressure-inlet и pressure-outlet). Метод расчета – Coupled.

В результате расчета мы получаем изменение силы в зависимости от числа итераций (рисунок 5). Если взять среднее значение с того момента, когда сила стала близка к наименьшим колебаниям значения, то мы получим 21,3 Н или же 2,17 кгс.

Для проверки точности необходимо сравнить значения с натурным экспериментом. Полученное значение изображено на рисунке 4 и равно 2,08 кгс или же 20,4 Н.

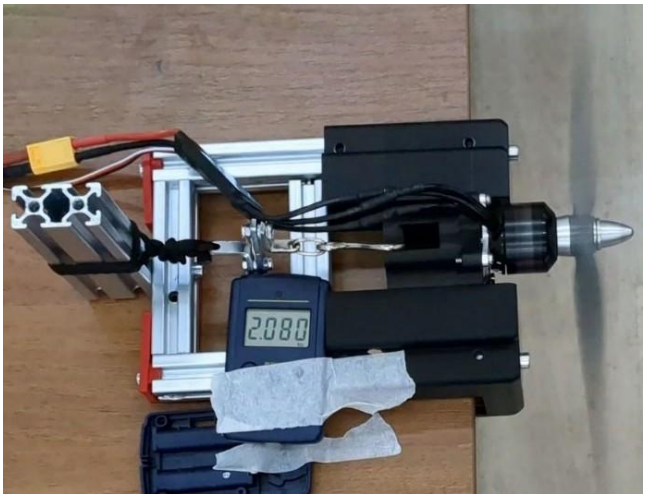


Рис.4. Значение тяги при натурном эксперименте

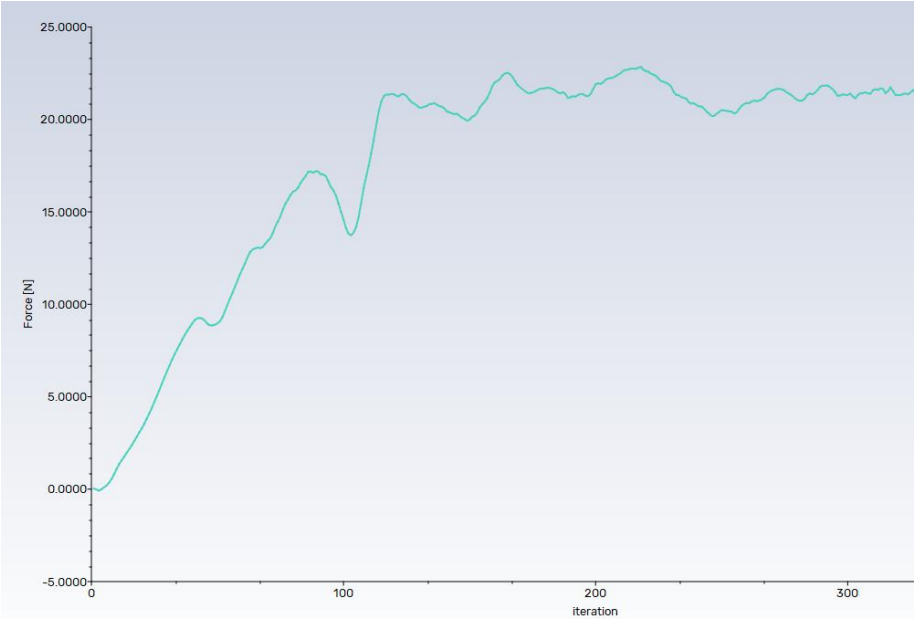


Рис. 5. График изменения силы в зависимости от числа итераций в процессе расчета

Как видно из всех расчетов, то тяга при натурном эксперименте оказалась равна среднему из численного и аналитического расчетов и расхождение не превышает 5% для обоих расчетов.

Список литературы

1. J.B. Brandt, R.W. Deters, G.K. Ananda, O.D. Dantsker, and M.S. Selig Vol.1-4, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Aerospace Engineering, UIUC Propeller Database [Электронный ресурс]. URL: https://m-selig.ae.illinois.edu/props/propDB.html (Дата обращения 24.02.2023).

2. Краснов Н.Ф. Аэродинамика: учебник для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1980, ч.1 – 496с., ч.2 – 303с.

3. Саткевич А.А. Аэродинамика как теоретическая основа авиации. М.: ЁЁ Медиа, 1982. – 494с.

4. Зиганшин А.М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2013, 79с.

5. Практическая аэродинамика [Электронный ресурс] Аэродром «Мочище» // URL: https://aeromochische.ru/pilotam/biblioteka/ (Дата обращения 24.02.2023)

УДК 62-1

СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ТЯГИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ВОЗДУШНОГО ВИНТА

Шалынков С.А., Петропавловский О.И., Морозов В.В.

Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

E-mail: i.sergey2000@yandex.ru

STAND FOR DETERMINING THE VALUES OF ELECTRIC MOTOR AND PROPELLER THRUST

Shalynkov S.A., Petropavlovsky O.I., Morozov V.V.

Tula State University, Tula, Russia

E-mail: i.sergey2000@yandex.ru

Аннотация. В работе представлен стенд для измерения тяги различных комбинаций электродвигателей и воздушных винтов с помощью тензометрического датчика с возможностью изготовления дополнительных переходников крепления силовой установки, что увеличивает в несколько раз количество объектов исследования. Данный стенд разрабатывался для быстрого получения характеристик связки двигателя и воздушного винта экспериментально, а также для тестов стабильности работы, энергопотребления и подтверждения адекватности численных расчетов при наличии. Преимуществом данного стенда является достаточно простое строение, которое позволяет легко его воспроизвести с минимальными затратами, компактность и относительно высокая жесткость конструкции, которая сводит к минимуму внешнее воздействие на объект исследования и повышает точность полученных результатов. Таким образом, возможность отработки двигательной установки «на земле» позволяет уменьшить затраты на летные испытания и значительно сократить риски отказов во время полетов.

Ключевые слова: Стенд для измерения тяги, электродвигатель, воздушный винт, тензометрический датчик, аддитивные технологии, БПЛА, летательный аппарат, тяга, эксперимент.

Abstract. The paper presents a test bench for measuring thrust of various combinations of electric motors and propellers using a strain gauge sensor, with the possibility of making additional adapters for power plant mounts, which increases the number of research objects by several times. This simulator was designed for fast obtaining of characteristics of an engine-aircrew assembly by means of experiments as well as for stability tests, power consumption and validation of numerical calculations when available. The advantage of this simulator is its quite simple construction, which enables its reproduction with minimum expenses, compactness and relatively high rigidity of its construction, which minimizes the external influence on the investigated object and increases the accuracy of the obtained results. Thus, the possibility of testing the propulsion system "on the ground" allows to reduce the costs of flight tests and significantly reduce the risk of failures during flights.

Keywords: thrust measurement bench, electric motor, propeller, strain gauge, additive technologies, UAV, aircraft, thrust, experiment.

В настоящее время вопрос подбора электродвигателя и воздушного винта к нему стоит остро из-за резкого увеличения количества разрабатываемых образцов беспилотной техники, в том числе и БПЛА. Для минимизации расходов

на летные испытания летательных аппаратов, предварительно тестируют силовые установки и воздушные винты на специальных стендах, которые крепятся в аэродинамической трубе или просто на установочной поверхности. В первом случае, помимо чистой тяги двигателя с воздушным винтом, мы также можем определить коэффициент полезного действия силовой установки на различных скоростях полета, что позволяет подобрать оптимальные параметры полета для обеспечения реализации максимальных характеристик двигателя и винта с максимальным коэффициентом полезного действия.

Стенд, изображённый на рисунке 1, состоит из трех больших частей: силовая рама (1), тележка на колесах с креплением под двигатель (2) и тензометрический датчик (3).

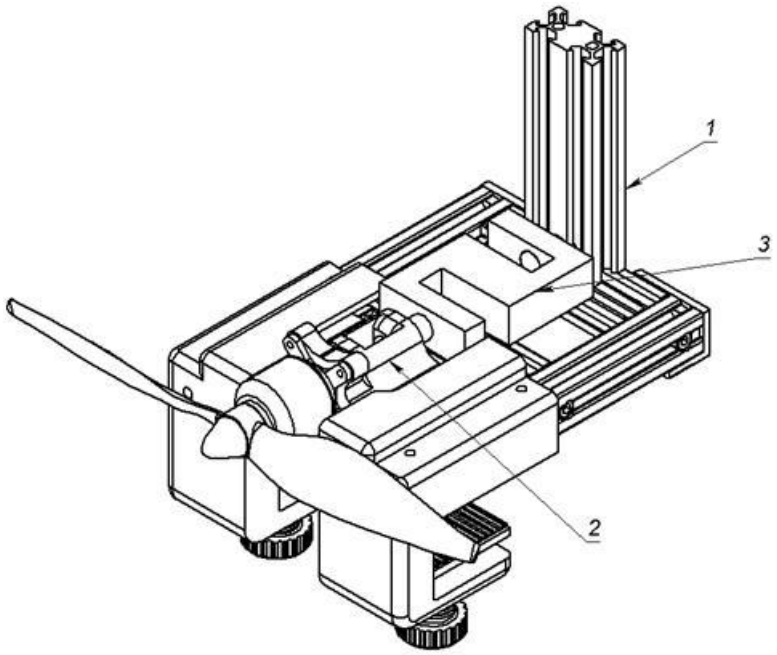


Рис.1. Общий вид стенда для измерения тяги двигателя с воздушным винтом

Стенд имеет крепления к столу (1) с прорезиненными прокладками для исключения проскальзывания и смещения во время работы. Фиксация осуществляется за счет поджатия снизу винтами (3), к которым через шарнир (2) прикреплена лапка с прорезиненной прокладкой с возможностью компенсации неровности базовой поверхности. Схема крепления изображена на рисунке 2.

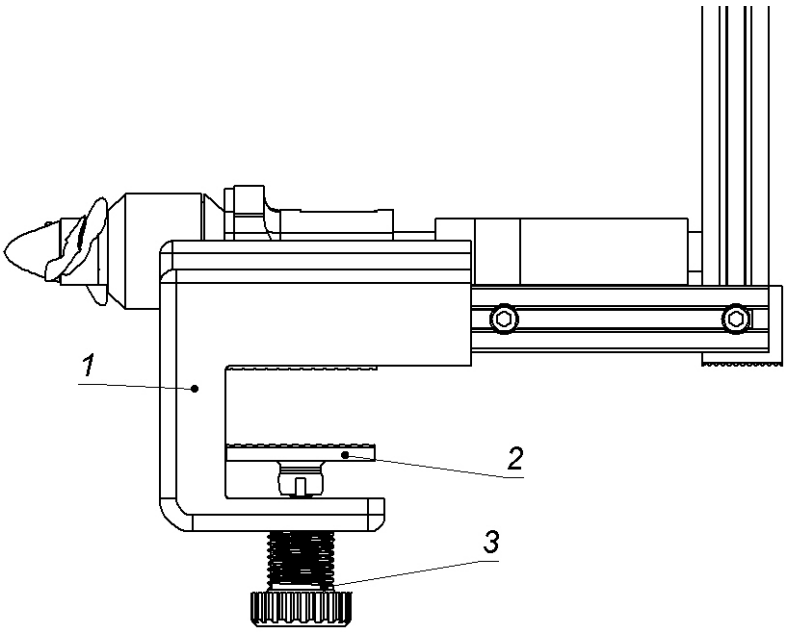


Рис. 2. Вид сбоку и схема крепления к столу

Объект исследования, а именно электродвигатель с воздушным винтом, крепится с помощью винтов М3 к тележке (1) с четырьмя колесами (3), которые свободно могут катиться по углублению в профиле. Степень прижима колес регулируется с помощью эксцентриковых проставок (2), данный параметр очень важен не только для обеспечения плавного качения, но и для обеспечения надежного закрепления тележки в плоскости.

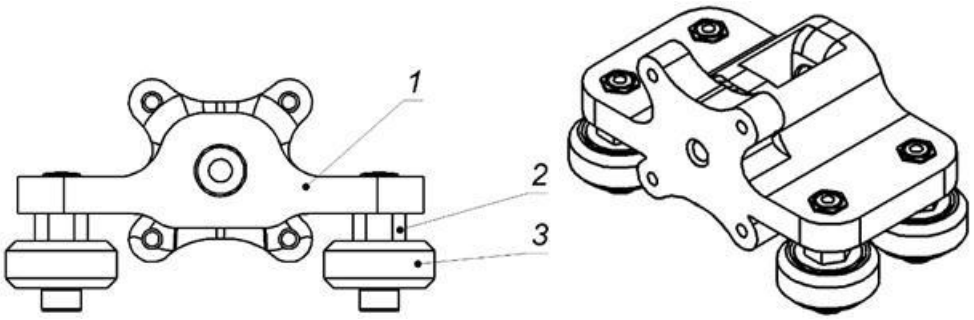


Рис. 3. Тележка

Принцип действия данного стенда очень прост: прикрепленный электродвигатель с воздушным винтом создает силу, которая растягивает или сжимает тензометрический датчик, далее преобразованное значение данной силы выводится на дисплей в килограммах.

В данном стенде s-образный датчик может быть заменен на любой другой датчик, например тензометрический датчик из электронного безмена. Таким образом, можно существенно снизить стоимость стенда, унифицировать измерительный узел и упростить отображение показаний за счет использования встроенного в безмен малоразмерного дисплея.

Рама состоит из четырех профилей 20x20 V-Slot и одного 20x40 V-Slot, которые скреплены винтами через просверленные отверстия. Тензометрический датчик одним из концов посредством винта M12 крепится к профилю 20x40, а другим к тележке с закрепленным на ней посредством четырех винтов M3 электродвигателем с воздушным винтом. Винты, которые фиксируют двигатель относительно тележки, вкручиваются во вплавляемые гайки, что располагаются в тележке со стороны тензометрического датчика. Крепление к столу, защитный кожух и мягкие прокладки изготовлены по технологии послойного наплавления.

Таким образом, представленный стенд позволяет с легкостью провести замеры тяги большинства малоразмерных модельных электродвигателей и воздушных винтов, что помогает точно подобрать и протестировать определенную двигательную установку перед установкой на летательный аппарат, а возможность изготовления из подручных материалов значительно снижает затраты на испытания.

Список литературы

1. J.B. Brandt, R.W. Deters, G.K. Ananda, O.D. Dantsker, and M.S. Selig Vol.1-4, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Aerospace Engineering, UIUC Propeller Database [Электронный ресурс]. URL: https://m-selig.ae.illinois.edu/props/propDB.html (Дата обращения 24.02.2023).

2. Фадеев, Н.Н Аналитический метод аэродинамического расчета самолета с винтом изменяемого шага / Н.Н Фадеев. - М.: ЁЁ Медиа, 1989. - 232 с.

3. Суворкин Д.И. Испытательные комплексы и стенды для исследования агрегатов и систем летательных аппаратов : монография / Суворкин Д.И. – М.: Изд-во НГТУ, 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алтунин А.В.	Инженер-конструктор; Отдел главного металлурга акционерного общества «Акционерная компания «Туламашзавод», г. Тула
Дедов Н.А.	Лаборант-исследователь; Лаборатория ионных материалов научного образовательного центра «ТулаТЕХ», Новомосковский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Новомосковск
Долженко А.В.	Старший преподаватель кафедры экспертизы и управления недвижимостью, заведующий лабораторией информационного моделирования в строительстве BIMЛаб; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова», г.Белгород
Доманский А.Р.	Аспирант кафедры «Станки»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
Женаева Е.Е.	Инженер-технолог; Отдел главного металлурга акционерного общества «Акционерная компания «Туламашзавод», г. Тула
Захаров Н.С.	Обучающийся; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Ильина Т.А.	Лаборант-исследователь; Лаборатория ионных материалов научного образовательного центра «ТулаТЕХ», Новомосковский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Новомосковск
Киреев А.А.	Директор Центра компетенций в сфере применения беспилотных авиационных систем; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов
Кожемова К.Р.	Кандидат химический наук, старший преподаватель кафедры органической химии и ВМС; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик

Кокорев А.Р.	Специалист Центра компетенций в сфере применения беспилотных авиационных систем; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов
Корбанов В.Д.	Аспирант кафедры МиМ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Костылева Е.И.	Кандидат химический наук, доцент кафедры общей и неорганической химии; Новомосковский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Новомосковск
Леонова Т.И.	Младший научный сотрудник лаборатории экологической и медицинской биотехнологии; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Лепикаш Р.В.	Младший научный сотрудник лаборатории экологической и медицинской биотехнологии; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Морозов В.В.	Кандидат технический наук, доцент кафедры «Ракетное вооружение»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Мусаев Ю.И.	Доктор химический наук, профессор, главный научный сотрудник УНИИД; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик
Мусаева Э.Б.	Кандидат химический наук, доцент, старший научный сотрудник УНИИД; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик
Николашин В.П.	Доктор исторических наук; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов

Новиков А.Н.	Доктор химический наук, доцент, заведующий кафедрой общей и неорганической химии; Новомосковский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Новомосковск
Песцов Г.В.	Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий микробиологической лабораторией центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула.
Петропавловский О.И.	Обучающийся; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Прокудина О.В.	Магистрант 1 курса кафедры биологии и технологии живых систем, лаборант технопарка универсальных педагогических компетенций; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула.
Протопопов Е.А.	Кандидат технический наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Самсонов В.А.	Аспирант кафедры «Станки»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
Санакоева М.О.	Кандидат химический наук, старший преподаватель кафедры «Химии и медицины»; Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, республика Южная Осетия, г. Цхинвал
Третьякова А.В.	Аспирант кафедры биологии и технологии живых систем, младший научный сотрудник центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула
Шалынков С.А.	Обучающийся; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула

Шлаев К.И.	Аспирант кафедры «Станки»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
Щукина И.А.	Лаборант-исследователь; Лаборатория ионных материалов научного образовательного центра «ТулаТЕХ», Новомосковский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Новомосковск

ЛИДЕРЫ 3D-TECH

Материалы Всероссийской
научно-практической конференции
молодых ученых
(06–07 февраля 2023 г.)

В редакции авторов

Объем данных 3,46 Мб
Подписано к использованию 15.03.2023

АНО ДПО «Высшая техническая школа»
300041, Тульская область, г. Тула, Центральный переулок, д.18, 3 этаж.