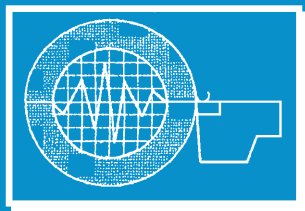


ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского
государственного
технического
университета

ISSN 1990-5297



Серия

Прогрессивные технологии
в машиностроении

16+

№ 1 (296)
2025

Главный редактор научного журнала
«Известия Волгоградского государственного технического университета»
академик РАН, профессор, доктор химических наук
советник при ректорате Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)
И. А. НОВАКОВ

Редакционная коллегия:

Байбурин В. Б., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАЕН, засл. деятель науки РФ, Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Безъязычный В. Ф., д-р техн. наук, проф., Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева (г. Рыбинск, Россия)
Бодров В. Н., д-р, проф., Университет прикладных наук (г. Берлин, Германия)
Бребельс А., PhD, доцент факультета инженерных наук университета г. Левена (г. Левен, Бельгия)
Буренин А. А., чл.-корр. РАН, Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН (г. Комсомольск-на-Амуре, Россия)
Голованчиков А. Б., д-р. техн. наук, проф. ВолгГТУ
Гринберг Б. А., д-р физ.-мат. наук, Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)
Гуревич Л. М., д-р техн. наук, доц. ВолгГТУ
Добрушин Л. Д., д-р техн. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев, Украина)
Злотин С. Г., д-р хим. наук, проф., Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (г. Москва, Россия)
Иванов А. М., д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ, г. Москва, Россия)
Иващенко Н. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Королев А. В., д-р техн. наук, проф., Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Кузьмин С. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Кураев А. А., д-р физ.-мат. наук, проф., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь)
Лысак В. И., академик РАН, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Марков В. А., д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет (МГТУ) им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Мертен Клеменс, д-р техн. наук, проф. Universität Stuttgart Institut für Chemische Verfahrenstechnik (г. Штутгарт, Германия)
Навроцкий А. В., д-р хим. наук, проф. ВолгГТУ
Нижегородцев Р. М., д-р экон. наук, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва, Россия)
Пай В. В., д-р физ.-мат. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)
Пустовойт В. Н., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)
Русинов В. Л., чл.-корр. РАН, Химико-технологический институт Уральского федерального университета (ХТИ УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)
Рыбин В. В., чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский политехнический университет (г. Санкт-Петербург, Россия)
Трюэль Жан-Луи, д-р экон. наук, проф., Университет «Париж-12», Сорбонна, Франция, вице-президент Международного клуба экономистов «Круг Кондратьева»
Тхай Куанг Винь, д-р философии, Институт информационных технологий (г. Ханой, Вьетнам)
Федянов Е. А., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Фролов В. А., д-р техн. наук, проф., МАТИ – Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (г. Москва, Россия)
Шарилов В. М., д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)
Шаховская Л. С., д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ
Щербаков М. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ

Серия
«ПРОГРЕССИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»

ИЗВЕСТИЯ



ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Чигиринский Ю. Л., д.т.н., доц.

Сердобинцев Ю. П., д.т.н., проф.
(зам. председателя)

Безъязычный В. Ф., д.т.н. проф.
(РГАТУ им. П. А. Соловьева,
г. Рыбинск)

Схиртладзе А. Г., д.т.н. проф.
(МГТУ «СТАНКИН», г. Москва)

Бржозовский Б. М., д.т.н. проф.
(ИМАШ РАН, г. Москва)

Королев А. В., д.т.н. проф.
(СГТУ, г. Саратов)

Шумячер В. М., д.т.н., проф.
(ВПИ, филиал ВолгГТУ,
г. Волжский)

Сидякин Ю. И., д.т.н., проф.

Благовецкая М. М., д.т.н., проф.
проректор (МГУПБ, г. Москва)

Пашков Е. В., д.т.н., проф. советник
ректора (СевГУ, г. Севастополь)

Попов В. И., д.т.н., проф.
(МГУПБ, г. Москва)

Сердобинцев С. П., д.т.н., проф.
(КТУ, г. Калининград)

Тихонова Ж. С., к. т. н.
(ответственный секретарь)
Тел. 8-927-504-27-54

Международный индекс журнала
ISSN 1990-5297.

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
«Пресса России» – 80811
https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/y_e80811/

Тел. издательства ВолгГТУ:
8-(8442) 24-84-05
8-(8442) 24-84-08
zavrio@vstu.ru

Научный журнал
Издается с января 2004 г.
Выходит двенадцать раз в год

№ 1 (296)
Январь
2025

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Адрес редакции:

Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00
E-mail: ianovakov@vstu.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

**Авторское право на журнал в целом принадлежит Учредителю,
на отдельные статьи – сохраняется за автором**

Перепечатка из журнала «Известия Волгоградского государственного технического
университета» категорически запрещена без оформления договора
в соответствии с действующим законодательством РФ

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Известия Волгоградского
государственного технического университета» обязательна

© Волгоградский государственный технический университет,
«Известия Волгоградского государственного технического университета», 2025

Head Editor of the scientific journal "Izvestiya VSTU":

Novakov I. A. – Academician of RAS, Prof., Doctor of Chemistry Advisor in the Rector's Office of VSTU

Editorial board:

Baiburin V. B., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Academician of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Bezyazychny V. F., D. Sc. (Engineering), Prof., Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solov'yov (Rybinsk, Russia)

Bodrov V. N., D. Sc., Prof., University of Applied Sciences (Berlin, Germany)

Brebels A., PhD, Associate Prof., Faculty of Engineering Science of University of Leuven (Leuven, Belgium)

Burenin A. A., Corresponding Member of RAS, Institute of Machinery and Metallurgy of the FEB RAS (Komsomolsk-on-Amur, Russia)

Golovanchikov A. B., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Grinberg B. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Institute of Metal Physics, Ural Division of RAS (Ekaterinburg, Russia)

Gurevich L. M., D. Sc. (Engineering), Associate Prof. of VSTU

Dobrushin L. D., D. Sc. (Engineering), E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)

Zlotin S. G., D. Sc. (Chemistry), Prof., N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Ivanov A. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow Automobile and Road Construction University (MADI) (Moscow, Russia)

Ivashchenko N. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Korolev A. V., D. Sc., Prof., State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Kuzmin S.V., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Kurayev A. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR) (Minsk, Republic of Belarus)

Lysak V. I., Academician of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Markov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Merten K., D. Sc. (Engineering), Prof., Institute of Chemical Process Engineering (Stuttgart, Germany)

Navrotsky A. V., D. Sc. (Chemistry), Prof. of VSTU

Nizhegorodtsev R. M., D. Sc. (Economy), Chief research worker, Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Pai V. V., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Pustovoyt V. N., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Rusinov V. L., Corresponding Member of RAS, Institute of Chemical Technology of Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

Rybin V. V., Corresponding Member of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)

Thai Quang Vinh, D. Sc. (Philosophy), Institute of Information Technology (Hanoi, Vietnam)

Truel J.-L., D. Sc. (Economy), Prof., University Paris Est Créteil, Sorbonne, France, Vice-president of International economists club "Kondratiev Circle"

Fedyanov E. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Frolov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., "MATI Russian State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky" (Moscow, Russia)

Sharipov V. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow State Technical University "MAMI" (Moscow, Russia)

Shakhovskaya L. S., D. Sc. (Economy), Prof. of VSTU

Shcherbakov M. V., D. Sc. (Engineering), Prof. VSTU

SERIES
«ADVANCED
TECHNOLOGY IN
MACHINE BUILDING»

IZVESTIA



VOLGOGRAD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY

The Journal is included to the list of peer-reviewed scientific journals and publications of the Higher Attestation Commission (HAC) of the RF for publishing of results of candidates for scientific degrees

Editorial board:

Chairman

Tchigirinsky Ju. L., D. Sc.
(Engineering), Ass. Prof.
Serdobintsev Yu.P., D. Sc.
(Engineering), Prof. (Vice-chairman)
Bez'yazychniy V.F., D. Sc.
(Engineering), Prof. (RSATU
named after P.A. Solovyov, Rybinsk)
Skhirtladze A.G., D. Sc.
(Engineering), Prof.
(MSTU STANKIN, Moscow)
Brzhozovsky B. M., D. Sc.
(IMASH RAN, Moscow)
Korolev A.V., D. Sc., Prof.
(SSTU, Saratov)
Shumyacher V.M., D. Sc.
(Engineering), Prof.,
(VPI of VSTU, Volzhski)
Sidyakin Yu.I., D. Sc. (Engineering), Prof.
Blagoveschenskaya M.M., D. Sc.
(Engineering), Prof., Vice-rector
(MSUFP, Moscow)
Pashkov E.V., D. Sc. (Engineering),
Prof., rector's advisor
(SEVSU, Sevastopol)
Popov V.I., D. Sc. (Engineering),
Prof. (MSUAB, Moscow)
Serdobintsev S.P., D. Sc.
(Engineering), Prof.
(KSTU, Kaliningrad)
Tihonova Zh. S. (executive secretary),
Cand.Sc
Tel. 8-927-504-27-54

International index of the journal
ISSN 1990-5297.

The journal is distributed by sub-
scription.
Index of the magazine according to
the united catalog
«Press of Russia» – 80811.
[https://www.pressa-
rf.ru/cat/1/edition/y_e80811/](https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/y_e80811/)

Tel. Of VSTU editorial office:

8-(8442) 24-84-05
8-(8442) 24-84-08
zavrio@vstu.ru

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

№ 1 (296) January 2025

FOUNDER:

FSBEI of Higher Professional Education
«Volgograd State Technical University»

Editorial office address:

Volgograd, Lenin avenue, 28.

Tel.: Head Editor – (+7 8442) 24-80-00

E-mail: ianovakov@vstu.ru

The journal is registered at the Federal Service on Control in the Sphere of Communication,
IT and Mass Communications (Roscomnadzor)
Registration certificate ПИ № ФС77–61113 of March 19, 2015

Is printed according to the decision of editorial-review board of
Volgograd State Technical University

*The copyright for the journal in general belongs to the Founder,
for separate articles – to authors.*

*Reprint from the journal «Izvestia VSTU» is strongly forbidden without conclusion of an
agreement in accordance with the legislation of the RF
When reprinting the materials, the citation to the journal «Izvestia VSTU» is obligatory*

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аляева М. А. 17
Барабанов В. Г. 81, 93
Бочкарев Н. С. 84
Бочкарев П. Ю. 28, 84
Ваганов К. В. 57
Васильева Ю. В. 81
Генералов И. А. 62, 78
Голованчиков А. Б. 66
Демченко А. И. 84
Драпак К. А. 57
Дроботов А. В. 72, 78
Дубцова Е. Ю. 84
Дуденков А. Ю. 40
Дьяченко Е. А. 69, 93
Емельяненко А. А. 7, 17
Жданов А. А. 14
Жохов А. Д. 89
Залипаев П. П. 66
Залипаева О. А. 66
Зебазе Жизлейн Н. А. 53
Зими́на Ю. А. 17
Капитанов А. В. 74
Кимбор Д. В. 72
Ковенский И. М. 37
Кожевникова А. А. 14
Козенко М. Ю. 69, 93
Козловцева Н. В. 74
Кормилицин С. И. 26, 44, 47
Крылов Е. Г. 74
Курбатов А. Е. 26
Курилов А. А. 62, 78
Макаров А. М. 69
Макарова Е. А. 81, 89
Малинин П. В. 28
Николаев М. Е. 84
Овсянников В. Е. 37
Овчинников Г. Н. 89
Панюлайтис А. С. 89
Петрюк И. П. 26
Порхун А. П. 93
Поступаева С. Г. 40, 66
Рогачев А. В. 50
Саловаров Р. Н. 14
Солодков В. А. 44, 47
Стражев В. В. 50
Субботин Д. С. 14
Тихонова Ж. С. 40
Фомин В. С. 57
Фролов Е. М. 50
Чибангу Э. Ч. 74
Чигиринский Ю. Л. 53
Шалухин Д. С. 69
Шатеева А. В. 7
Шпитко Г. Н. 37
Яковлев А. А. 40

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Емельяненко А. А., Шатеева А. В.

- Предпосылки и опыт изготовления тонкостенной оболочки
анатомической формы методом селективного лазерного
плавления металлического порошка..... 7

Жданов А. А., Кожевникова А. А., Саловаров Р. Н., Субботин Д. С.

- К вопросу о назначении рациональных режимов резания
на токарных и расточных операциях..... 14

Зими́на Ю. А., Емельяненко А. А., Аляева М. А.

- Конструкторско-технологические решения
экспериментального прототипа светодиодного экстрактора муцина..... 17

Кормилицин С. И., Курбатов А. Е., Петрюк И. П.

- Применение усовершенствованного ротационного упрочнителя
для обработки деталей из титановых сплавов..... 26

Малинин П. В., Бочкарев П. Ю.

- Установление координатных связей компонентов
технологической структуры в пространстве зоны
проходной бесцентровой обработки..... 28

Овсянников В. Е., Ковенский И. М., Шпитко Г. Н.

- Технологическое обеспечение точности формы деталей
нефтегазового оборудования..... 37

Поступаева С. Г., Дуденков А. Ю., Яковлев А. А., Тихонова Ж. С.

- Разработка автоматического устройства охлаждения зоны резания
фрезерного станка с ЧПУ на начальных этапах проектирования..... 40

Солодков В. А., Кормилицин С. И.

- Динамика формирования контактной зоны при врезании..... 44

Солодков В. А., Кормилицин С. И.

- Влияние легирования кобальтовой связки твердого сплава
на его износостойкость и ударную прочность..... 47

Стражев В. В., Фролов Е. М., Рогачев А. В.

- Адаптация метода автоматического назначения режимов точения
для многостадийной обработки..... 50

Зеба́зе Жизлейн Н. А., Чигиринский Ю. Л.

- Моделирование параметров качества поверхности
в результате механической обработки..... 53

Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ваганов К. В., Драпак К. А., Фомин В. С.

- Автоматическое обнаружение дефектов в процессе
печати FDM 3D-принтеров с помощью нейросетевых технологий..... 57

Генералов И. А., Курилов А. А.

- Система управления малогабаритным генератором
для подзарядки аккумуляторов..... 62

<i>Голованчиков А. Б., Залипаев П. П., Залипаева О. А., Поступаева С. Г.</i> Определение коэффициента Генри в автоматизированной установке по массе поглощенных паров.....	66
<i>Дьяченко Е. А., Козенко М. Ю., Шалухин Д. С., Макаров А. М.</i> Влияние системы прямого отжига на процесс формирования изделий из PEEK по технологии FDM.....	69
<i>Кимбор Д. В., Дроботов А. В.</i> Снижение трудоемкости производства малогабаритных насосов с помощью аддитивных технологий.....	72
<i>Крылов Е. Г., Козловцева Н. В., Капитанов А. В., Чибангу Э. Ч.</i> Анализ оценки качества услуг станций технического обслуживания автомобилей.....	74
<i>Курилов А. А., Генералов И. А., Дроботов А. В.</i> Повышение производительности пятиосевой аддитивной установки за счет автоматизации процесса калибровки.....	78
<i>Макарова Е. А., Васильева Ю. В., Барабанов В. Г.</i> Повышение эффективности работы газопоршневых установок.....	81
<i>Николаев М. Е., Дубцова Е. Ю., Демченко А. И., Бочкарев Н. С.</i> Полуавтоматизированный погрузочно-транспортный агрегат для цилиндрических штучных грузов.....	84
<i>Овчинников Г. Н., Жохов А. Д., Панюлайтис А. С., Макаров А. М.</i> Экспериментальное исследование зависимости производительности насосной системы от воздухопроницаемости гибких контейнеров при выполнении процесса предварительного раскрытия.....	89
<i>Порхун А. П., Барабанов В. Г., Дьяченко Е. А., Козенко М. Ю.</i> Проектирование высокотемпературной платформы с расширенной площадью печати для 3d-принтеров, работающих по технологии послойного наплавления.....	93

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.762.55:621.791.725+62-408.64:616.28-76
DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-7-14

А. А. Емельяненко^{1, 2}, А. В. Шатеева²

ПРЕДПОСЫЛКИ И ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКИ АНАТОМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА

¹ Волгоградский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

² Волгоградский государственный университет

E-mail: emelyanenko_aleksei@mail.ru, anfisa.2009.2002@gmail.com

Предложен способ моделирования и изготовления тонкостенной криволинейной металлической оболочки вкладыша-резонатора слухового аппарата, копирующей индивидуальную анатомическую форму наружного слухового прохода. Обоснован выбор материала оболочки, приведена последовательность моделирования и изготовления опытного образца, описаны особенности технологического процесса. В основу моделирования положено 3D-сканирование анатомической поверхности, посадочной для оболочки: слухового прохода или его слепка. В качестве метода формообразования (3D-печати) принят метод селективного лазерного плавления (SLM) металлического порошка. Рекомендовано оборудование для сканирования поверхности, печати и постобработки заготовки. Приведены скриншоты и фото, иллюстрирующие моделирование и изготовление опытного образца. Технология может быть реализована как групповая для конструктивно схожих, но оригинальных по форме оболочек, составляющих индивидуальные комплекты вкладышей.

Ключевые слова: анатомическая форма, 3D-сканирование, тонкостенная оболочка, 3D-модель, металлический порошок, 3D-печать, селективное лазерное плавление, SLM-технология

A. A. Emelyanenko^{1, 2}, A. V. Shateeva²

BACKGROUND AND EXPERIENCE IN MANUFACTURING A THIN-WALLED ANATOMICALLY SHAPED SHELL BY SELECTIVE LASER MELTING OF METAL POWDER

¹ Volgograd branch of the Russian federal research institute
of fisheries and oceanography

² Volgograd State University

A method is proposed for modeling and manufacturing a thin-walled curved metal shell of a hearing aid resonator insert that copies the individual anatomical shape of the external ear canal. The choice of shell material is justified, the sequence of modeling and manufacturing of a prototype is given, the features of the technological process are described. The modeling is based on 3D-scanning of the anatomical surface that fits the shell: the ear canal or its impression. The method of selective laser melting (SLM) of metal powder has been adopted as a method of forming (3D-printing). Recommended equipment for surface scanning, printing and post-processing of the workpiece. Screenshots and photos illustrating the modeling and production of a prototype are provided. The technology can be implemented as a group for structurally similar, but original in shape shells that make up individual sets of inserts.

Keywords: anatomical shape, 3D-scanning, thin-walled shell, 3D-model, metal powder, 3D-printing, selective laser melting, SLM-technology

Технологии 3D-печати сегодня, совершенствуясь и расширяя свои технологические возможности, занимают все большую долю производства уникальных изделий высокотехнологич-

ных отраслей экономики, в том числе производства изделий медицинского назначения и медицинского приборостроения. Одним из перспективных направлений приложения возмож-

ностей 3D-печати является производство слуховых аппаратов. Известно применение 3D-MID-технологий (Three-Dimensional Molded Interconnect Device) в серийном изготовлении держателя микрофона заушного слухового аппарата [1], предложено применение 3D-MID-технологии для изготовления индивидуальных эргономичных корпусов, совмещающих функции печатного узла и шасси аппаратной части заушного слухового аппарата и копирующих анатомическую форму поверхностей прилегания [2].

Другой составной частью заушного слухового аппарата, в обеспечение эргономичности которой могут быть эффективно применены 3D-технологии, является ушной вкладыш. Ушной вкладыш устанавливается (вкладывается) в наружную часть слухового прохода, является завершающей (исполнительной) частью звуковод, транслирует усиленный акустический сигнал через слуховой проход на барабанную перепонку, в зависимости от материала может являться резонатором. Конструктивно может быть канальным, то есть иметь сквозное отверстие для передачи акустических колебаний по непрерывному воздушному каналу от телефона слухового аппарата до барабанной перепонки, и мембранным, то есть являться замкнутой оболочкой с одним входным отверстием и выполнять функцию мембраны, передающей акустические колебания воздуху в слуховом проходе.

В силу расположения вкладыша в естественной открытой физиологической полости целесообразно, чтобы поверхность вкладыша копировала анатомическую форму поверхности прилегания, а вкладыш надежно удерживался бы в ухе, не вызывая дискомфорта у пользователя.

В настоящее время в сегменте «бюджетных» заушных слуховых аппаратов применяются вкладыши унифицированной формы «грибок» (одно-, двух-, трехкупольный) и «олива» пяти размеров (диаметров) [3], что не может полностью отвечать эргономическим потребностям пользователей, поскольку не учитывает индивидуальные особенности анатомического строения, размеры слухового прохода, изменения его формы в результате операции и т.д. Материалом подобных вкладышей является, как правило, силиконовый эластомер, компенсирующий своей упругой деформацией несоответствие формы вкладыша поверхности прилегания, и, вследствие чего, вызывающий дискомфорт, раздражение кожи, потертости и т.п.

В качестве материалов применяют также: акрил (наименее предпочтителен, стареет, ме-

няет цвет, образует трещины, способен вызывать аллергию), поливинилхлорид пластифицированный (затвердевает, меняет цвет, выделяет химические вещества), полиэтилен (стареет, приобретает непривлекательный белый цвет).

Индивидуальные анатомические особенности учитываются в сегменте производства вкладышей «на заказ» [4, 5], где вкладыш изготавливается методом лазерной стереолитографии SLA (Laser Stereolithography), то есть путем послойного отверждения жидкой фотополимерной композиции лазерным лучом по 3D-модели, полученной сканированием слепка ушного прохода и доработанной в специализированной CAD-системе. Подобные вкладыши не являются оболочками, а являются сплошными телами со сквозным криволинейным отверстием.

Ниша индивидуальных вкладышей мембранного типа звукопередачи может быть эффективно заполнена металлическими тонкостенными оболочками, копирующими анатомическую форму слухового прохода. Эффективность таковых обусловлена не только эргономичностью формы, но и эргономичностью передачи звука – способностью к резонированию (усилению) звука в определенном диапазоне частот.

Необходимость применения металла, обеспечения его сплошности (сплошной беспористой структуры), сложный замкнутый профиль оболочки определяют выбор метода 3D-печати: селективное лазерное плавление SLM (Selective Laser Melting).

Метод селективного лазерного плавления металлического порошка находит все более широкое применение в медицине [6], производстве имплантатов, в частности в стоматологии [7], как метод позволяющей обеспечить индивидуальную сложнопрофильную, зачастую миниатюрную, форму конструкции с высокими механическими характеристиками. Выбор материала имплантата зависит от его назначения и эксплуатации в тех или иных физиологических средах. В Российской Федерации металлический материал имплантата должен отвечать требованиям стандарта [8], идентичного соответствующему международному стандарту. Стандарты [9, 10, 11] группы ГОСТ Р ИСО 5832 «Имплантаты для хирургии. Металлические материалы» содержат указание на предпочтительность применения титана и его сплавов с точки зрения биологической совместимости, являющейся первым требованием стандарта [8]: «Ни один из известных материалов для

имплантатов, используемых в хирургии, не продемонстрировал полного отсутствия вредного воздействия на организм человека. Однако длительный клинический опыт применения материала, указанного в настоящем стандарте, показал, что при условии его надлежащего использования можно ожидать приемлемый уровень биологической реакции организма» (цитата по стандарту [9]). Высокий уровень биосовместимости титановых сплавов, определенный тестами на клеточных культурах *in vitro* (букв. с лат.: в стекле, в пробирке; *здесь*: вне организма.), был подтвержден наблюдениями *in vivo* (букв. с лат.: на живом; *здесь*: на живом организме) непосредственно у многочисленных пациентов с протезами суставов. Нежелательные биологические эффекты у пациентов с титановыми имплантатами встречаются примерно в 10 раз реже, чем у пациентов с имплантатами из других материалов [6].

Оболочка ушного вкладыша, строго говоря, не является имплантатом, но в то же время подвержена воздействию определенных физиологических сред, микробиологического фона и средств дезинфекции, и сама является инородным материалом, периодически и подолгу находящимся в физиологической полости организма. Поэтому выбор наиболее инертного и биосовместимого металла представляется правильным и в отношении оболочки. Стандарты [9, 10, 11] содержат требования к химическому составу, микроструктуре, механическим свойствам нелегированного титана категорий Grade 1 ELI, Grade 1, Grade 2, Grade 3, Grade 4A и 4B и сплавов титана Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb. Сравнение требований стандартов [9, 10, 11] с требованиями стандарта [12] позволяют оценить степень соответствия отечественных марок зарубежным по химическому составу: отечественная марка нелегированного титана BT1-00 в целом соответствует зарубежной категории Grade 1 ELI; марка BT1-0 - категории Grade 1; отечественный сплав титана BT6 является аналогом зарубежного сплава Ti-6Al-4V при более жестких допусках содержания легирующих элементов и некоторых примесей в последнем; сплав 19 является ближайшим по химическому составу к сплаву Ti-6Al-7Nb, но содержит вдвое меньше легирующего элемента – ниобия. Механические характеристики сплавов Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb существенно выше характеристик нелегированного титана (предел прочности, предел текучести выше в 3,5...4 раза). С учетом того, что высокая удельная проч-

ность сплава позволит минимизировать толщину стенки оболочки, рациональным представляется применение сплавов Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb или сплава BT6. Указанные сплавы в максимальной степени удовлетворяют требованиям стандарта [8] для условий применения оболочки: не содержат органических, в частности полимерных, и иных составляющих, способных вызывать аллергию, раздражение и т.п. реакции организма; не испытывают износа трением и не оставляют продуктов износа; не подвержены физической, химической, биологической деградации и не оставляют продуктов деградации; инертны к физиологическим веществам, выделение которых естественно для места применения оболочки; коррозионностойки к дезинфицирующим растворам; не участвуют в гальванических парах и не находятся в электролитических средах сколь-нибудь существенной концентрации – не выделяют ионов легирующих элементов; составляют конструктивно единый элемент, образующий лишь внешнее соединение с трубкой-звуководом, не участвующее в контакте с биологическими тканями, не воздействующее на область контакта и не подверженное воздействию факторов контакта; способны к формированию после финишной механической обработки (полирования) сплошной гладкой поверхности, исключающей накопление микрочастиц и микроорганизмов; не содержат радиоактивных составляющих. Очевидно и то, что срок эксплуатации в рассматриваемых условиях сплава титана практически не ограничен, в то время как полимерные оболочки подвержены старению и деструкции.

В рамках настоящей работы применен сплав Ti-6Al-4V, как марка, под которую оптимизирована работа оборудования 3D-печати заводскими настройками. В качестве оборудования использован промышленный 3D-принтер по металлу Concept Laser Mlab cusing R производства фирмы Concept Laser GmbH, Германия [13].

Моделирование оболочки осуществляется как обработка 3D-скана полимерного отвержденного слепка наружного слухового прохода в CAD-системе. Сканирование слепка предпочтительно сканированию непосредственно слухового прохода как сканирование наружной, всюду доступной для обозрения, поверхности малых размеров, размещаемой непосредственно на столе сканера. Сканирование предпочтительно осуществлять на аудиологическом или стоматологическом сканере, например, модели Activity 885 [14] производства фирмы Smart

Optics Sensortechnik GmbH, Германия, или аналоге со схожими характеристиками. Погрешность скана, выполненного подобным оборудованием, не выходит за пределы ± 10 мкм. Формат электронной модели на всех этапах моделирования и печати – STL.

В рамках настоящей работы в качестве скана анатомической поверхности использовалась стандартная скульптурная модель человека из библиотеки элементов программного пакета с открытым исходным кодом Blender, разработчик Blender Foundation, Нидерланды. Моделирование осуществлялось по анатомической поверхности как по «посадочной» поверхности, к которой прилегает оболочка (рис. 1). Моде-

лирование реальной оболочки должно включать в себя еще и выдавливание вента – наружного желоба для вентиляции, однако в рамках настоящей работы, заключающейся в проверке и отработке возможности изготовления оболочки выбранным методом, эта конструкторская манипуляция была опущена. Необходимым конструктивным элементом оболочки является патрубок для присоединения звуковода. Он учтен в 3D-модели. 3D-модель оболочки, ее размеры, ракурсы, разрез приведены на рис. 2, 3. Габаритные размеры оболочки ($6,14 \times 8,46 \times 12,76$ мм), толщина стенки (0,4 мм) обеспечиваются технологическими возможностями принтера [13].



Рис. 1. Моделирование оболочки по «посадочной» поверхности:
а – модель анатомической поверхности прилегания; б – модель оболочки

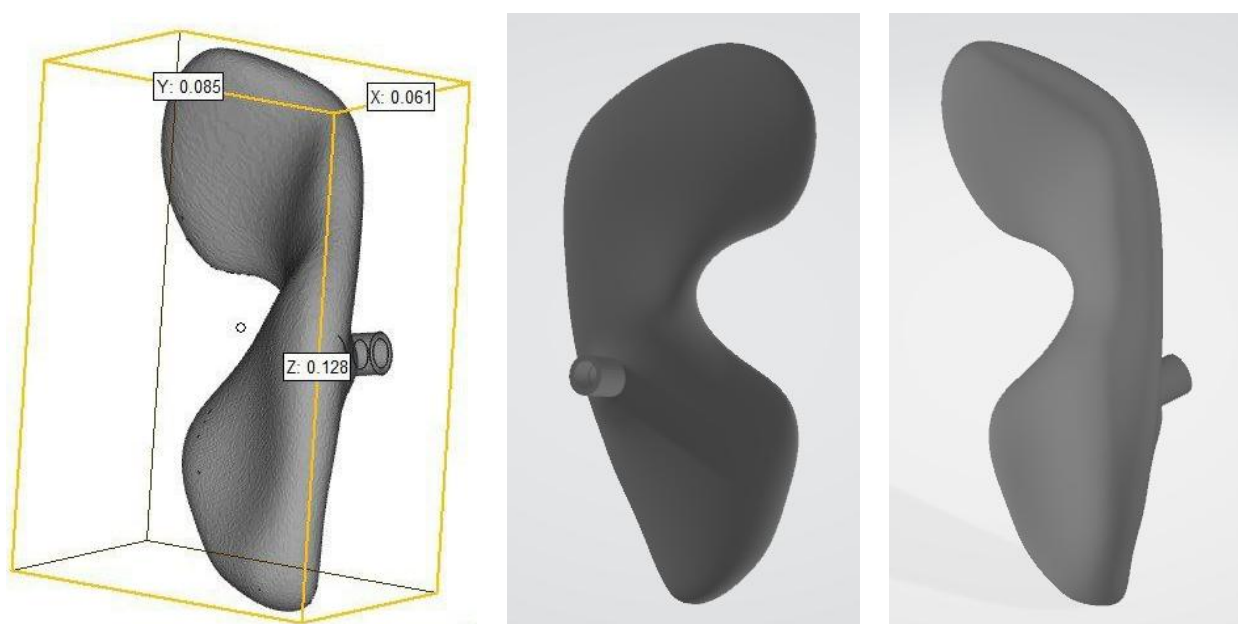


Рис. 2. 3D-модель оболочки: размеры ($\times 10^2$ мм), ракурсы

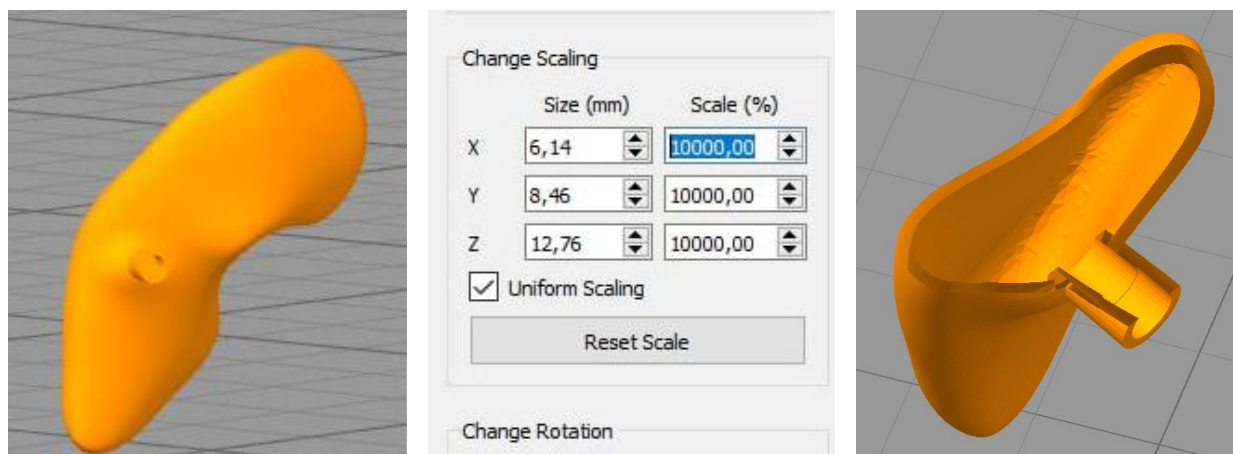


Рис. 3. 3D-модель оболочки: вид, размеры (мм), разрез

Важным технологическим вопросом является положение оболочки при печати. Во-первых, площадь поверхности плавления за один проход лазерного луча должна быть минимальна во избежание избыточного и неравномерного нагрева заготовки, ее коробления и отрыва поддержек. Во-вторых, расположение заготовки должно минимизировать количество и площадь нависающих участков ее поверхности (наклон которых к горизонтали не превышает 45°) как снаружи, так и внутри оболочки. Под нависающие наружные поверхности должны быть подведены поддержки (учтены в технологической 3D-модели). В-третьих, положение заготовки должно обеспечивать максимальное удаление металлического порошка из ее полостей после окончания плавления во время вибрационного удаления порошка с плиты (платформы построения) и из заготовки, находящейся на поддержках. С учетом приведенных принципов принято вертикальное расположение оболочки (наибольший габаритный размер отсчитывается по вертикали), такое, что нависающие части (и оболочка в целом) имеют наименьшую площадь горизонтальной проекции. Под опорную и нависающую части подведены поддержки (количество поддержек минимально, они выполняют также функцию теплоотвода). Для освобождения полости оболочки от порошка в ее опорной части предусмотрено технологическое отверстие диаметром 1 мм (использовать в качестве такового отверстие патрубка было бы неэффективно даже при горизонтальном расположении оболочки). Нарезка слоев модели и генерация поддержек произведена программным «слайсером» Materialise Magics, поставляемым в комплекте с принтером указанной модели. С учетом наиболее вероятного размера частиц порошка 20 мкм

и наибольшего размера 40 мкм толщина слоя для изготовления опытного образца принята равной 40 мкм (минимальная толщина слоя для данной модели принтера – 20 мкм). Послойное плавление титанового сплава осуществляется в камере с инертным газом – азотом. Стратегия прожига – комбинирование траектории, скорости движения и мощности лазерного луча в зависимости от сечения слоя – реализована программным обеспечением принтера (фирменная технология Skin&Core). Максимальная мощность лазера – 100 Вт. Минимальная толщина стенки, выполняемая на принтере указанной модели, – 100 мкм, что позволяет выполнить оболочку с толщиной стенки 0,4 мм и дает возможность в дальнейшем экспериментировать с толщиной оболочки для придания ей наилучших акустических (резонансных) свойств.

Процесс освобождения заготовки от металлического порошка показан на рис. 4. Последний этап освобождения полости заготовки от металлического порошка через технологическое отверстие на вибростенде можно видеть на рис. 5. Здесь же можно видеть количество и расположение поддержек заготовки, текстуру поверхности до постобработки.

Поскольку сплошность структуры металла достигается в этом способе формообразования сплавлением, то есть, по сути, послойной сваркой металла, то заготовка после формообразования должна быть подвержена термообработке во избежание формирования остаточных напряжений, деформации и разрывов. Заготовка подвергается термообработке вместе с платформой построения. Режим термообработки с учетом тонкой стенки: отжиг при температуре $700...720^\circ\text{C}$ по возможности в вакууме или в инертном газе в течении 15 минут с последующим охлаждением в печи.

После охлаждения заготовка отпиливается, подвергается слесарной обработке: места спила зачищаются мелкоабразивными головками (бормашиной), отверстие патрубка рассверливается (для удаления налипшего порошка, направление сверления – снизу вверх), поверхность оболочки полируется предварительно мягкими полировальными головками. Для удаления остатков порошка и стружки оболочка аккуратно продувается сжатым воздухом (диаметр сопла 2...3 мм). Рис. 6 иллюстрирует по-

верхность оболочки после предварительного полирования, здесь же в первом и четвертом ракурсах можно видеть технологическое отверстие для удаления порошка из оболочки. С учетом технологической сложности пайки титановых сплавов технологическое отверстие предполагается завальцовывать на следующих образцах, выполняя предварительно в модели и заготовке вальцовочный буртик. Изготовление оболочки завершается окончательным полированием.



Рис. 4. Освобождение заготовки от металлического порошка



Рис. 5. Заготовка на подложках



Рис. 6. Заготовка после предварительного полирования: ракурсы

Погрешность формообразования примененной модели принтера находится в пределах ± 50 мкм. С учетом указанной выше погрешности сканирования (± 10 мкм) суммарная погрешность метода изготовления оболочки составляет ± 60 мкм. Припуск при моделировании оболочки по скану слепка и окончательное полирование по результатам примерки позволяют компенсировать погрешность изготовления и обеспечивают плотное и комфортное прилегание к ответной анатомической поверхности.

Таким образом, предложенный и апробированный на опытном образце способ моделирования и изготовления оболочки вкладыша слухового аппарата позволяет изготовить эргономичную тонкостенную оболочку-резонатор, копирующую индивидуальную анатомическую

форму наружного слухового прохода, выполненную из инертного и в наибольшей степени биосовместимого сплава титана. Метод формообразования – селективное лазерное плавление металлического порошка – обеспечивает полное проплавление частиц металла, сплошность (отсутствие пористости) структуры металла, сложный криволинейный (нелинейчатый) замкнутый профиль и постоянную толщину оболочки, приемлемую точность (с учетом постобработки полированием) изготовления. Технология может быть реализована как групповая для конструктивно схожих, но оригинальных по форме оболочек, составляющих индивидуальные комплекты вкладышей, выбор и применение которых адаптивно текущему анатомическому состоянию слухового прохода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Franke, J. Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID). Materials, manufacturing, assembly, and applications for injection molded circuit carriers. – Munich: Carl Hanser Verlag, 2013. 356 p.
2. Предпосылки применения 3D-MID-технологий для обеспечения эргономичности заушных слуховых аппаратов / А. В. Шатеева, А. А. Емельяненко // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (291) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 37–42.
3. The acoustics of instant ear tips and their implications for hearing-aid fitting / J. Cubick, S. Caporali, D. Lelic et al. // Ear and hearing. – 2022. – №43. – P. 1771–1782.
4. Инновационная технология производства индивидуальных ушных вкладышей Dreve Otoplastik GmbH / Е. Шмидт // Российская оториноларингология. – 2013. – № 2. – С. 140–143.
5. Innovation aus Tradition. Dreve Otoplastik. Product Catalogue. №24. – Unna: Dreve Otoplastik GmbH, 2024. 76 s.
6. Titanium in biomedical applications - properties and fabrication: a review / A. Khorasani, E.H. Doeven, G. Littlefair et al. // Biomaterials and Tissue Engineering. – 2015. – №5. – P. 593-619.
7. Исследование структуры и свойств стоматологических коронок, изготовленных методом селективного лазерного плавления и по технологии литья в форме / Д. А. Кравченко, О. Н. Медведева // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. – Вып. 14. – С. 652–661.
8. ГОСТ Р ИСО 14630–2017 Имплантаты хирургические неактивные. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2017. – 20 с.
9. ГОСТ Р ИСО 5832–2–2020 Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 2. Нелегированный титан. – М. : Стандартинформ, 2020. – 8 с.
10. ГОСТ Р ИСО 5832–3–2020 Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 3. Деформируемый сплав на основе титана, 6-алюминия и 4-ванадия. – М. : Стандартинформ, 2020. – 12 с.
11. ГОСТ Р ИСО 5832–11–2014 Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 11. Деформируемый титановый сплав, содержащий 6-алюминия 7-ниобия. – М. : Стандартинформ, 2015. – 7 с.
12. ГОСТ 19807–91 Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки. – М. : Стандартинформ, 2011. – 3 с.
13. Mlab cusing R // 3dtoday.ru. URL: <https://3dtoday.ru/3d-printers/concept-laser-gmbh/mlab-cusing-r> (дата обращения 30.09.2024).
14. Activity 885 // 3dtoday.ru. URL: <https://3dtoday.ru/3d-scanners/smart-optics-sensortech-gmbh/activity-885> (дата обращения 30.09.2024).

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-14-17

*А. А. Жданов, А. А. Кожевникова, Р. Н. Саловаров, Д. С. Субботин***К ВОПРОСУ О НАЗНАЧЕНИИ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТОКАРНЫХ И РАСТОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ****Волгоградский государственный технический университет**E-mail: alex_128@mail.ru, alla.aka-78@yandex.ru,
salovarovroman248@gmail.com, fly_fly_000@mail.ru

В работе произведен анализ способов прогнозирования показателей качества и назначения рациональных режимов резания при токарной обработке с применением СОТС. Особое внимание уделяется выбору рациональных режимов резания при операциях подрезки торца и растачивания как одних из наименее освещенных в справочно-методической и научной литературе.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие жидкости (СОТС), подрезание торца, растачивание, рациональные режимы резания, оперативная диагностика режущих свойств

*A. A. Zhdanov, A. A. Kozhevnikova, R. N. Salovarov, D. S. Subbotin***ON THE ISSUE OF ASSIGNING RATIONAL CUTTING MODES FOR TURNING AND BORING OPERATIONS****Volgograd State Technical University**

The paper analyzes the methods for predicting quality indicators and assigning rational cutting modes during turning using cutting fluids. Particular attention is paid to the selection of rational cutting modes during end-cutting and boring operations as some of the least covered in reference and scientific literature.

Keywords: cutting fluids, end-cutting, boring, rational cutting modes, operational diagnostics of cutting properties

Выбор рациональных режимов резания при токарной обработке с имеет большое значение для оптимизации процесса резания и повышения его эффективности, а также для обеспече-

ния заданных показателей качества изделия (точности, шероховатости и т.д.). Существуют различные подходы к назначению режимов резания: расчет по традиционным машинострои-

тельным справочникам, системы предварительной диагностики режущих свойств контактных пар «инструмент-заготовка», адаптивные системы управления процессом резания.

Большое количество научных работ направлено на изучение влияния различных марок СОТС, применяемых в металлообработке, на различные аспекты процесса резания и не только. Так в работе И. В. Булычева [1] выбор СОТС основывается на ширине диапазона ее использования по видам операций и обрабатываемых материалов, поскольку в условиях современного производства СОТС обязана не только гарантировать высокую эффективность в конкретных условиях обработки, но и иметь достаточную гибкость, чтобы сохранять свои качества при перемене условий резания. Такой подход является одним из наиболее доступных и экономически выгодных.

Выделяются факторы, связанные с условиями обработки, включая параметры режима резания, диагностирование состояния инструмента при обработке, назначение периодичности восстановления инструмента, т. е. составляющие стратегию эксплуатации режущего инструмента, в общем виде представляющую собой совокупность принципов и правил, обеспечивающих заданное управление процессом эксплуатации режущего инструмента путем назначения оптимальных его режимов работы и работ по его восстановлению в соответствии с техническим состоянием.

При оптимизации режимов резания подачу S (мм/об) и глубину резания t (мм) назначают максимально возможными исходя из технологических (точность обработки, качество обрабатываемой поверхности, величина припуска и т. д.) и технических (мощность привода главного движения и приводов подачи, жесткость металлорежущего станка, геометрия режущего инструмента, применяемая технологическая оснастка и т. д.) ограничений. Таким образом, варьируемым параметром при решении задачи оптимизации является как правило скорость резания. Оптимальный режим резания находится путем определения скорости резания, сводящей к минимуму удельные затраты с учетом технологических и конструктивных ограничений металлорежущего станка. Скорость резания не влияет на постоянные затраты при металлообработке (на оборудование, оплату труда, содержание зданий и сооружений), но при увеличении скорости резания увеличивается количе-

ство деталей, производимых за час и, следовательно, уменьшается стоимость станкочаса. Однако при увеличении скорости резания снижается стойкость инструмента, поэтому затраты на инструмент, входящие наряду с затратами на обрабатываемые заготовки в переменные затраты при металлообработке, увеличиваются.

Во работах многих ученых показано, что жидкость, в которой происходит резание, может активно участвовать в смазочно-охлаждающем процессе. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при резании сводится к охлаждающему действию на заготовку и инструмент, пластифицированию поверхностного слоя путем абсорбирования поверхностно-активных веществ, которые оказывают расклинивающее действие, к смазочному и химическому воздействиям. Молекулы активных веществ, проникая в трещины, создают давление на стенки до 100 кН/м^2 .

На практике в качестве СОЖ применяют; эмульсии, содовые водные растворы с добавками нитрита натрия, мыльные растворы, сернистые масла, а также керосиново-масляные смеси.

А. Г. Кисель и Д. С. Реченко в работе [2] при помощи стенда, включающего машину трения, провели сравнительные испытания 33 наименований водоэмульсионных, синтетических и масляных СОТС для определения фактического коэффициента трения при условиях, близким к условиям резания. По результатам эксперимента, в котором использовались четыре различных материала для ролика и твердый сплав Т15К6 в качестве колодки, была составлена сводная таблица, позволяющая оценить смазывающее и охлаждающее действие СОТС в каждом случае. Полученные данные дают возможность подбора наиболее технологически эффективной СОТС для обработки определенного материала.

В работе [3] проводилось исследование зависимости периода стойкости твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовки из сплава 12Х18Н10Т от охлаждающих свойств СОТС. По итогам было установлено, что использование СОТС продлевает срок службы режущей пластины в среднем в 1,66 раза по сравнению с обработкой без СОТС. Также была установлена эмпирическая зависимость в виде формулы, исходя из которой был определен интервал $V_{\text{охл. max}}$ (23.20; 24.77), °С/с, в рамках которого применение СОТС эффективно по пе-

риоду стойкости инструмента по сравнению с обработкой без применения СОТС:

$$T_u = f(V_{охл. max}),$$

где T_u – период стойкости твердосплавной режущей пластины от максимальной скорости охлаждения СОТС, применяющийся при резании.

**Результаты расчета скорости и составляющих сил резания
при подрезании торца и растачивании заготовки из стали 40Х13**

Справочник авторов	Скорость резания V , м/мин		Силы резания P , Н					
			P_z		P_y		P_x	
	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС
Косилова А. Г. [4]	360	–	199	–	94	–	92	–
Марков, В. В. Сметанников А. В. [5]	31	34	637	–	203	–	78	–
Барановский Ю. В. [6]	227	–	1114	–	–	–	–	–
Гузеева В. И. [7]	145	170	–	–	280	–	258	–
Баранчикова В. И. [8]	96	–	326	–	–	–	–	–

Традиционные машиностроительные справочники предлагают достаточно поверхностную и приблизительную оценку влияния СОТС на процесс резания. Сравнительные расчеты скорости и сил резания (представлены в таблице), произведенные с использованием справочной литературы для обработки стали 40Х13 резцом с твердосплавной пластиной Т15К6 при одинаковых режимах резания ($S = 0,1$ мм/об, $t = 1$ мм, $T = 60$ мин), показали, что влияние СОТС на скорость резания учитывается в справочниках [5] и [7], как коэффициент 0,75 и 0,80 к скорости резания (если СОТС не используется); влияние СОТС на силы резания не берется во внимание совсем. Также стоит отметить значительный разброс полученных значений.

Несмотря на то, что режимы резания для подрезки торца и растачивания одинаковые, у схемы резания, очевидно, будут достаточно разными. То же касается и характера износа режущего инструмента. В формулах растачивания обязательно должен быть учтен вылет и сечение резца, т.к. от этих параметров будет зависеть уровень вибраций, что, в свою очередь, повлияет на качество обработки.

Контролирование величины износа режущего инструмента можно осуществлять различными методами и средствами в процессе резания материалов: с помощью измерения сил резания, момента на шпинделе, тока или мощности двигателя главного привода, путем пробного резания, вибродиагностики с использованием акселерометров, методом акустической эмиссии, путем определения температуры резания с помощью ЭДС и пирометров, измерением температуры стружки, спектральным анализом силы

резания, с использованием механических, оптических, индуктивных и др. датчиков.

Широкое применение для контролирования состояния режущего инструмента нашли датчики касания, позволяющие измерять контролируемые размеры после окончания процесса резания с высокой точностью. При этом датчики касания размещаются непосредственно на станке и, в период измерительного цикла, станок работает в режиме координатно-измерительной машины.

Применяются и бесконтактные способы контролирования состояния режущего инструмента после окончания процесса резания, базирующиеся на использовании оптоэлектронных и пневматических датчиков вместо механических щупов. Используются датчики, с помощью которых по степени шероховатости обработанной можно судить об износе режущей кромки инструмента при точении.

Одним из надежных и адекватных современных способов назначения рациональных режимов обработки является способ, разработанный профессором А. Л. Плотниковым и волгоградской школой резания [9]. Он основан на измерении величины термоЭДС, наводимого между заготовкой и инструментом в режиме пробного прохода, которая является комплексным показателем физико-механических и теплофизических свойств контактной пары «инструмент-заготовка». Данный способ предварительной и оперативной диагностики актуален, исследования и разработки по его внедрению активно продолжаются. На сегодняшний момент получен действующий опытный образец микропроцессорного устройства для автомати-

зированного управления режимами резания на станке с ЧПУ [10].

Задачей дальнейшего исследования ставится разработка надежных и адекватных математических моделей определения скорости и сил резания для операций подрезания торца и растачивания, которые будут учитывать особенности схем стружкообразования, а также режущие свойства конкретных контактных пар «инструмент-заготовка».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булычев, И. В. Обзор современных смазочно-охлаждающих жидкостей / И. В. Булычев // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019). – Киров, 2019. – С. 50–54.
2. Кисель, А. Г. Оценка технологической эффективности смазочно-охлаждающих жидкостей при лезвийной обработке / А. Г. Кисель, Д. С. Реченко // Механика XXI века : сб. докл. XII Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием / БрГУ. – Братск, 2013. – С. 160–161.
3. Кисель, А. Г. Исследование зависимости периода стойкости твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовок из сплава 12Х18Н10Т от охлаждающих свойств СОТС / А. Г. Кисель, Е. Д. Пуртов, С. С. Выборов, Д. Ю. Белан, В. А. Гречишников // Проблемы машиноведения : матер. III Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. – Омск : ОмГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 59–65.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А. Г. Косилова [и др.] ; – Москва : Машиностроение, 1985. – 496 с.
5. Расчет режимов резания. Курсовое и дипломное проектирование по технологии машиностроения : справочник / под ред. В. В. Марков, А. В. Сметанников, П. И. Кисеев, Л. И. Лебедев, Д. А. Ветчинников. – Орел 2010.
6. Режимы резания металлов : справочник. / под ред. Ю. В. Барановского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.
7. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением : справочник / под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.
8. Справочник конструктора-инструментальщика / под ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1994. – 560 с.
9. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников, А. О. Таубе ; ВолгГТУ. – Волгоград : РПК «Политехник», 2003. – 184 с.
10. Automatic Turning Modes Assignment System / E. M. Фролов, А. В. Рогачев, Д. В. Крайнев, Ж. С. Тихонова, В. В. Стражев // Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2024) (Sochi, Russian Federation, May 19-24, 2024) / eds.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov ; Moscow Polytechnic University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 582-591. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-65870-9_53. – (Book series: Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME).

УДК 62-214.4+62-408.8+62-45+62-527.7+621.327.7

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-17-25

Ю. А. Зими́на¹, А. А. Емельяненко^{2,1}, М. А. Аляева¹

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОТОТИПА СВЕТОДИОДНОГО ЭКСТРАКТОРА МУЦИНА

¹Волгоградский государственный университет

²Волгоградский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

E-mail: emelyanenko_aleksei@mail.ru

В работе представлены конструкторско-технологические решения, принятые при разработке и изготовлении экспериментального прототипа светодиодного экстрактора биологически активного вещества, применяемого в производстве лекарственных и косметических средств. Решения основаны на применении светодиодного излучения в видимом диапазоне спектра как способе стимулирования живых организмов – моллюсков – к выделению секрета муцина. Решения состоят в разработке конструкции и технологии изготовления экстракционных элементов устройства с применением способа FDM-печати, чем достигается необходимая геометрия, текстура и качество экстракционных поверхностей (ребристость, зернистость, шероховатость), а также в применении программируемого контроллера и управляющей программы, позволяющей выявить наиболее производительный режим светового воздействия на организмы-доноры. Решения позволяют повысить производительность экстракции секрета без причинения травм животным, тем самым обеспечив многократную экстракцию за период жизни последних.

Ключевые слова: контейнер, текстура поверхности, FDM-печать, светодиодное излучение, пульсирующее излучение, управление режимами, контроллер, экстракция, экстрактор, прототип

Yu. A. Zimina¹, A. A. Emelyanenko^{2,1}, M. A. Alyaeva¹

**DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF THE EXPERIMENTAL
PROTOTYPE OF THE MUCIN LED-EXTRACTOR**

Volgograd State University

Volgograd branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution

«All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography»

The paper presents the design and technological solutions adopted during the development and manufacture of an experimental prototype of an LED-extractor of a biologically active substance used in the production of medicines and cosmetics. The solutions are based on the use of LED radiation in the visible range of the spectrum as a way to stimulate living organisms – mollusks – to secrete mucin. The solutions consist in the development of the design and manufacturing technology of the extraction elements of the device using the FDM-printing method, which achieves the necessary geometry, texture and quality of the extraction surfaces (ribbing, grain, roughness), as well as the use of a programmable controller and a control program that allows you to identify the most productive mode of light exposure to donor organisms. The solutions make it possible to increase the productivity of secret extraction without causing injury to animals, thereby ensuring multiple extraction over the life of the latter.

Keywords: container, surface texture, FDM-printing, LED-radiation, pulsating radiation, mode control, controller, extraction, extractor, prototype

Экстракция муцина – этап технологического цикла получения натурального биологически активного вещества в производстве лекарственных и косметических средств. Направления фармакологического и косметологического применения физиологического секрета – муцина – весьма активно развивается сегодня. Наиболее продуктивный источник муцина – брюхоногие моллюски, улитки. Общим принципом извлечения муцина является стимулирование животного к естественному выделению секрета путем создания физиологического стресса посредством тех или иных воздействующих факторов.

Применяют несколько способов (протоколов) стимулирования моллюсков к выделению секрета [1–3]: размещение на неестественной для животного опорной сетчатой поверхности в темноте и тишине, воздействие повышенной влажностью и температурой (мягким паром), центрифугирование, встряхивание на вибростоле, озонирование (вариант – в сочетании с вибрацией) [4], воздействие ультразвуковым и ультрафиолетовым излучением, воздействие электрическим током, воздействие высоким давлением [5], воздействие химическим раздражителем (кислотой, щелочью, солью). Одни из этих способов не отличаются высокой производительностью. Другие же наносят травмирующее и в определенной доле особой летальное воздействие на животных, что, с одной стороны, в промышленном масштабе нецелесообразно экономически, так как за период жизни моллюски могут быть использованы в цикле экстракции сотни раз, а, с другой стороны, дает повод к дискуссии о биоэтическом имидже фирмы, реализующей подобную технологию. Сущест-

вуют также способы спиртового [6] и сублимационного [7] извлечения биологически активных веществ из тканей улитки, не предполагающие, разумеется, продолжения жизни моллюска.

Перспективным видится такой способ воздействия, который исключал бы нанесение вреда физиологическому состоянию моллюсков, но обеспечивал бы высокую производительность извлечения муцина.

Наиболее распространенным на данный момент способом получения секрета улитки является центрифугирование. Этот и другие способы механического воздействия – встряхивание, вибрация – приводят к повреждению (растрескиванию и раскалыванию) раковин некоторой части моллюсков. В то же время наиболее щадящий способ извлечения муцина – размещение моллюсков на сетке (являющейся механическим раздражителем органа движения моллюска – ноги) в темном и тихом помещении (емкости) – является наименее производительным. Поэтому представляется рациональным разместить моллюска на сетке или на поверхности с иной раздражающей текстурой в тех же условиях, но дополнить воздействие другим фактором, не несущим риска механического повреждения моллюска. Предпосылкой такого дополнительного воздействия является наличие помимо органов зрения (стебельчатых глаз) светочувствительных клеток в теле моллюсков, ощущающих свет и раздражаемых ярким светом. Такое раздражение также приводит к интенсивному выделению защитного секрета – муцина. В то же время, в отличие от уже применяемого ультрафиолетового излучения с его

риском ожогового поражения тканей безопасное яркое освещение может быть реализовано маломощным светодиодным излучением, для усиления раздражающего фактора которого оно будет пульсирующим. С целью проверки и оценки эффективности настоящей гипотезы разработан и изготовлен экспериментальный (лабораторный) прототип светодиодного экстрактора муцина, для чего принят ряд конструкторских и технологических решений.

Поскольку, во-первых, геометрические параметры профиля опорной поверхности для моллюска, очевидно, должны отвечать размерам его органа движения – ноги, а среди брюхоногих моллюсков существуют виды существенно разных размеров, и, во-вторых, результаты исследования, очевидно, должны отвечать особенностям гомеостаза конкретного вида моллюсков, то для определенности в качестве объекта исследования принята улитка вида *Helix pomatia Linnaeus* – брюхоногий стебельчатоглазый моллюск семейства гелицидов (*Mollusca Gastropoda Stylommatophora Helicidae*).

Технологическая схема получения товарного продукта – муцина – представлена на рис. 1. Не останавливаясь на технологических этапах вне экстрактора, содержание которых следует из наименования позиций рисунка, следует отметить, что предметами разработки были способ и устройство, характеризуемые позициями 2–5.

В качестве экспериментальной камеры лабораторного прототипа экстрактора использован пластиковый контейнер размерами 395×295×140 мм с крышкой. Крышка одновременно служит шасси аппаратной части устройства. Крышка-шасси (рис. 2) разработана в рамках подготовки эксперимента, несет всю необходимую аппаратную часть, имеет щелевые отверстия для вентиляции, изготовлена из листового акрила толщиной 4 мм способом программируемой гидроабразивной резки. Также успешно может быть применена и программируемая лазерная резка.

На крышке установлены: кулер (напряжением 12 В), обеспечивающий циркуляцию воздуха в контейнере; датчик температуры и влажности (термометр-гигрометр); две беспаячные монтажные площадки. На одной площадке установлена плата «Arduino Nano» однокристального микроконтроллера «ATmega328», предназначенная для управления режимами освещения. Электрическая схема платы приведе-

на на рис. 3. На другой площадке расположен повышающий DC-DC-преобразователь 5 В/12 В с выходным током 2 А (рис. 4). В качестве источника постоянного напряжения использован Powerbank с характеристиками 5 В, 2 А.

С внутренней стороны крышки установлен светильник, изготовленный из пластика PETG посредством 3D-печати, с хромированным отражателем и светодиодами силой тока 270 мА, мощностью 2,7 Вт в количестве 9 шт. Цвет испускаемого света – белый (диапазон видимой части спектра). Поскольку светодиодный светильник потребляет ток 270 мА, в схему включен полевой транзистор IRFZ40, работающий в режиме ключа.

Экстрактор в сборе (прототип) показан на рис. 5.

Светодиоды управляются контроллером, программа которого содержит пять режимов работы. Режим 1 обеспечивает пульсацию светильника с периодичностью 0,5 с, режим 2 – пульсацию с периодичностью 0,05 с, режим 3 – постоянное освещение без пульсации, режим 4 обнуляет программу контроллера, режим 5 переводит контроллер в исходное положение.

Поскольку при своем движении улитка смачивает поверхность под собой и совершает вдоль нее волнообразные движения, то профиль, текстура, шероховатость опорной поверхности – все это воздействующие на животное факторы, стимулирующие секрецию. Поэтому в качестве постоянного воздействующего фактора применялось размещение опытных животных на пластине с ребристой поверхностью. Для этого была разработана и напечатана на 3D-принтере способом перехлестной FDM-печати специальная экстракционная пластина из PETG-пластика размерами 159×149×7 мм с V-образным профилем, образующим желобки (ребра) в одном направлении (рис. 6), на которой и размещались улитки во время эксперимента. Угол профиля желобков (ребер) 45°, высота профиля 3,5 мм. Перехлестная печать малой плотности позволила получить развитую зернистую текстуру поверхности, что в совокупности с грубой шероховатостью $Rz=80...120$ мкм является в данном случае полезным эффектом. Эксперимент показал, что улитки способны удерживаться и передвигаться по такой поверхности при ее расположении в диапазоне от горизонтального до вертикального при условии, что пластина перед размещением улитки вымыта и просушена. Поэтому в дальнейшем был разработан и изготов-

лен из того же материала тем же способом 3D-печати промышленный вариант экстракционной камеры (рис. 7), сочетающий в себе все выше-приведенные характеристики экстракционных поверхностей и их оптимальное симметричное

наклонное (V-образное) расположение, позволяющее после окончания экстрагирования и извлечения улиток легко смывать секрет по наклонным желобкам в фильтровальную часть промышленной установки (рис. 1).

Управляющая программа контроллера имеет вид:

```
const int RLED=9; //Red LED on
Pin 9
const int BUTTON=2; //The Button
is connected to pin 2

boolean lastButton=LOW; //Last
Button State
boolean currentButton=LOW; //
Current Button State
int ledMode=0; //Cycle between
LED states

void setup()
{
  pinMode (RLED, OUTPUT); //Set
  Red LED as Output
  pinMode (BUTTON, INPUT); //Set
  button as input (not required)
}

/*
 * Debouncing Function
 * Pass it the previous button state,
 * and get back the current
 * debounced button state.
 */
boolean debounce(boolean last)
{
  boolean
  current=digitalRead(BUTTON);
  //Read the button state
  if (last !=current) //if it's different...
  {
    delay(5); //wait 5ms
    current=digitalRead(BUTTON);
  }
  //read it again
  return current; //return the current
  value
}

/*
 * LED Mode Selection
 * Pass a number for the LED state
 * and set it accordingly
```

```
*/
void setMode(int mode)
{
  //RED
  if (mode==1)
  {
    digitalWrite(RLED, HIGH);
    delay (500);
    digitalWrite(RLED, LOW);
    delay (500);
  }
  //GREEN
  else if (mode==2)
  {
    digitalWrite(RLED, HIGH);
    delay (50);
    digitalWrite(RLED, LOW);
    delay (50);
  }
  //BLUE
  else if (mode==3)
  {
    digitalWrite(RLED, HIGH);
  }
}

void loop()
{
  currentButton=debounce(lastButton)
  ; //read debounced state
  if (lastButton==LOW &&
  currentButton==HIGH) //if it was
  pressed...
  {
    ledMode++; //increment the LED
    value
  }
  lastButton=currentButton; //reset
  button value
  //if you've cycled through the
  different options, reset the counter to
  0
  if (ledMode==5) ledMode=0;
  setMode(ledMode); //change the LED state
}
```

Экспериментальный прототип экстрактора не является изолированной системой и сообщается с лабораторным помещением, поэтому в помещении должны поддерживаться комфортные животному показатели температуры и влажности. В промышленной технологической схеме температура и влажность в экстракционной камере поддерживаются автономно посредством термостата. Термостат тем не ме-

нее вентилируется с достаточным для животных расходом воздуха.

Изготовленный прототип экстрактора позволил проверить выдвинутую гипотезу о возможности не травмирующего стимулирования секреции муцина и оценить эффективность стимулирования. Не вдаваясь в биологическое описание эксперимента, приведем его количественные результаты.

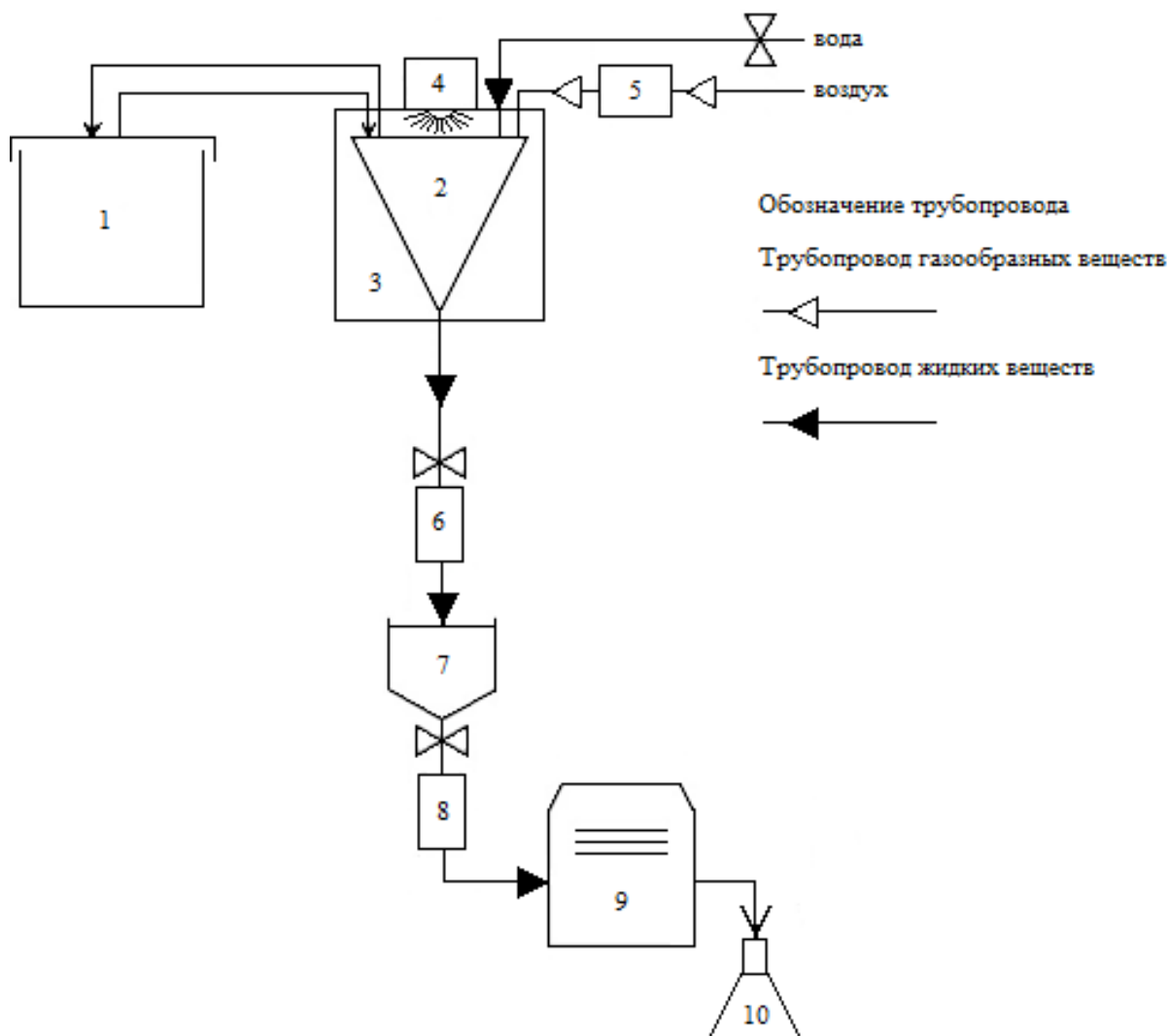
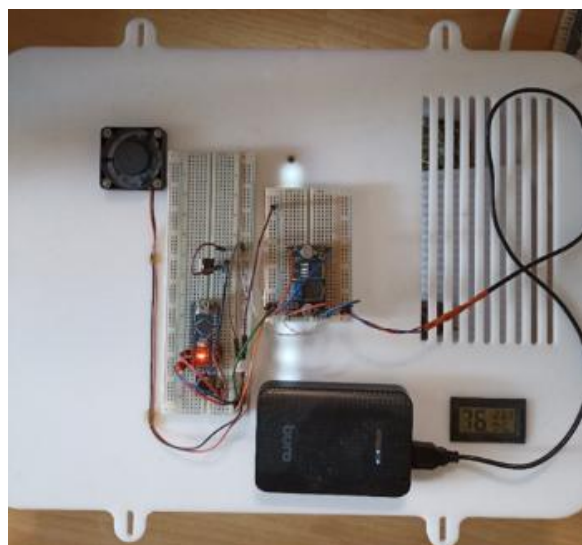


Рис. 1. Технологическая схема получения товарного продукта:
 1 – культивационное отделение; 2 – экстракционная камера; 3 – термостат;
 4 – светильник светодиодный; 5 – устройство вентиляции; 6 – микрофильтр;
 7 – емкость отстоя; 8 – субмикрофильтр; 9 – сушильная камера; 10 – тара



а



б

Рис. 2. Крышка-шасси:
а – вид сверху (снаружи); б – вид снизу (изнутри)

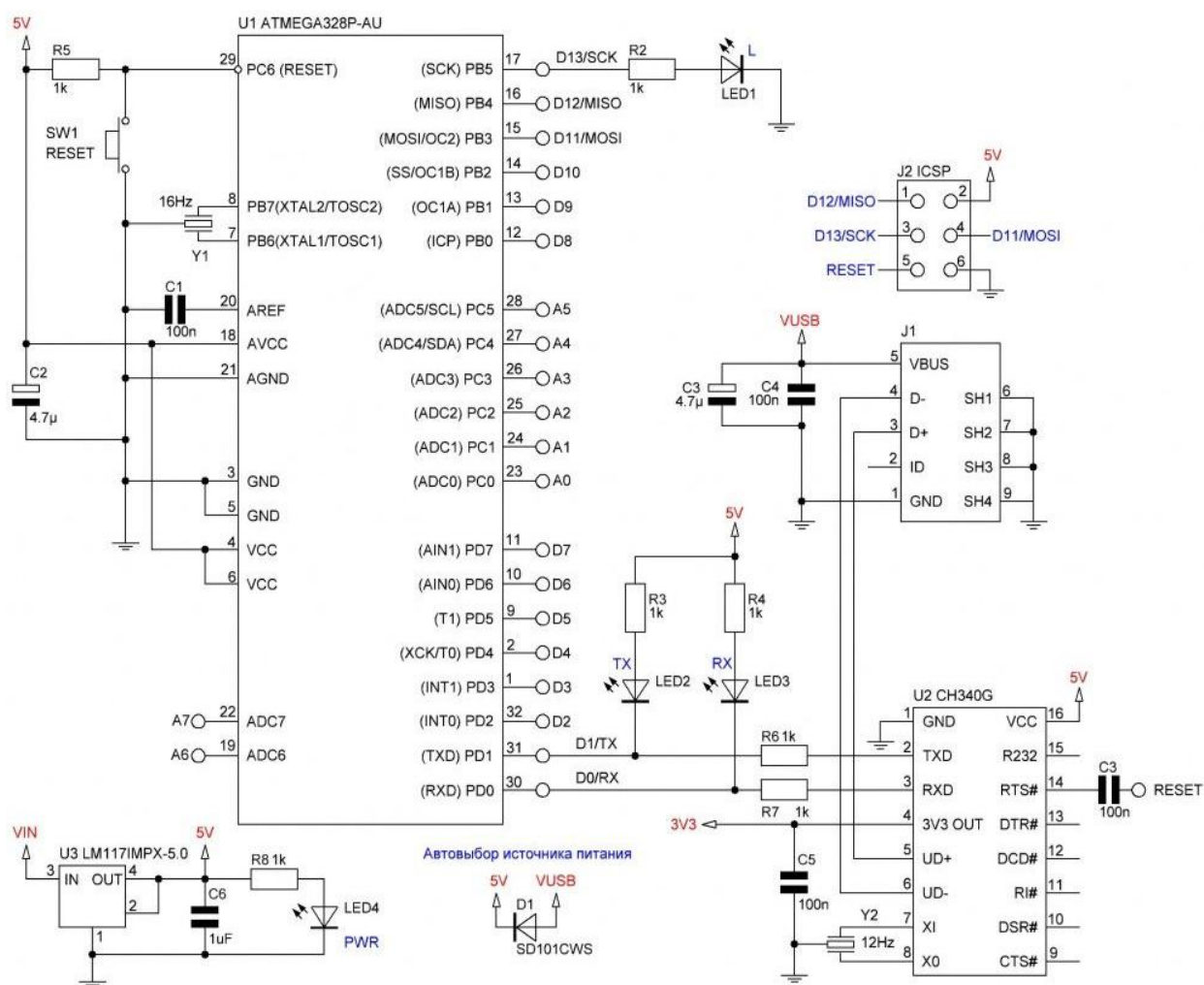


Рис. 3. Электрическая схема управляющей платы

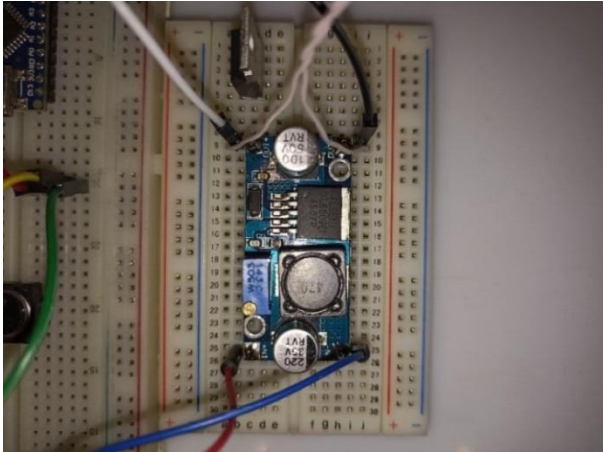


Рис. 4. Повышающий DC-DC-преобразователь

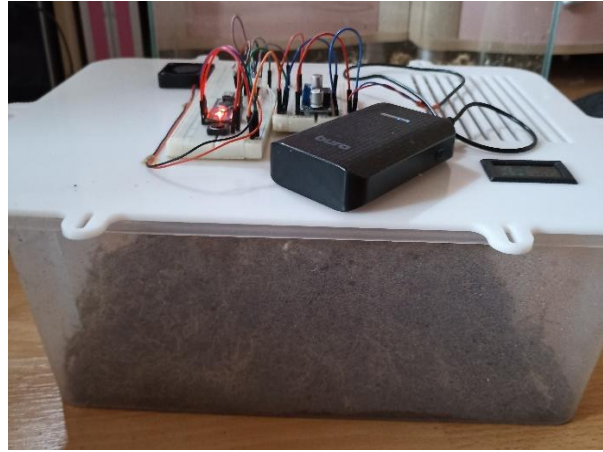


Рис. 5. Экстрактор в сборе (экспериментальный прототип)



а



б

Рис. 6. Экстракционная пластина:
а – общий вид; *б* – вид с удерживающейся улиткой

Серия опытов в течение поочередно 10, 20, 30 и 40 минут в каждом из трех режимов светового воздействия (12 серий экспонирования в каждом режиме с каждым из 12 подопытных моллюсков) показала, что наиболее эффективным режимом светового воздействия на улиток является режим пульсации светового потока с периодичностью 0,5 с. В таблице приведены средние арифметические результатов измере-

ний количества секрета в каждом режиме светового воздействия для каждой длительности экспонирования. Значения средних приведены с доверительными интервалами. Для наглядности построен график экстракции муцина (рис. 8). Все подопытные улитки быстро возвращались к нормальной активности и питанию по окончании экстракции и возвращении в культивационное отделение.

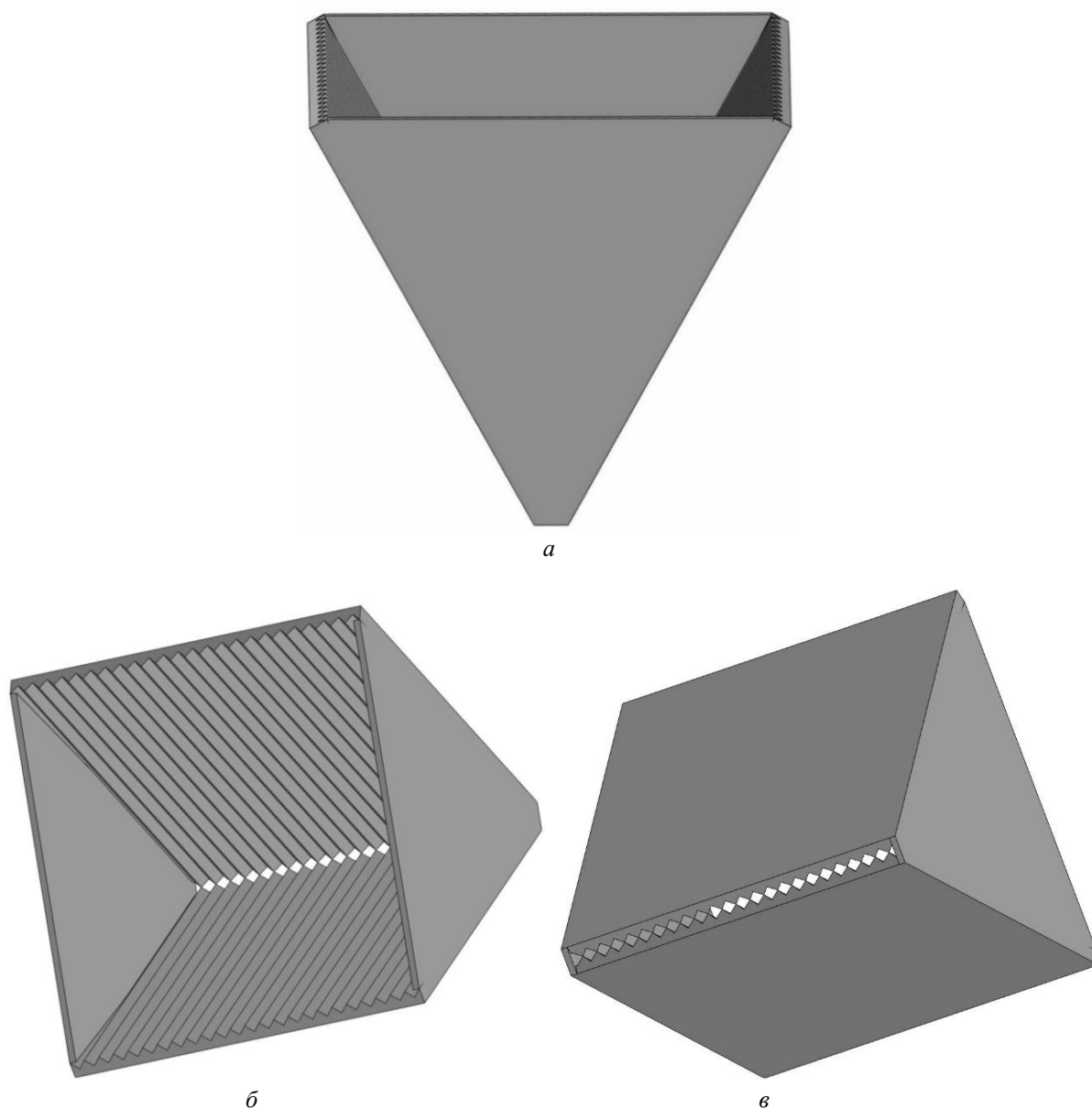


Рис. 7. Экстракционная камера, виды:
а – спереди; б – сверху; в – снизу

Количество выделившегося муцина

Время воздействия, мин	Масса выделившегося муцина, мг, при пульсации светового потока с периодичностью, с		
	0,5	0,05	0
10	1,76±0,26	1,60±0,20	1,08±0,22
20	6,42±0,41	2,68±0,19	2,58±0,17
30	9,42±0,46	3,09±0,30	2,09±0,15
40	15,33±0,57	6,51±0,42	4,85±0,30

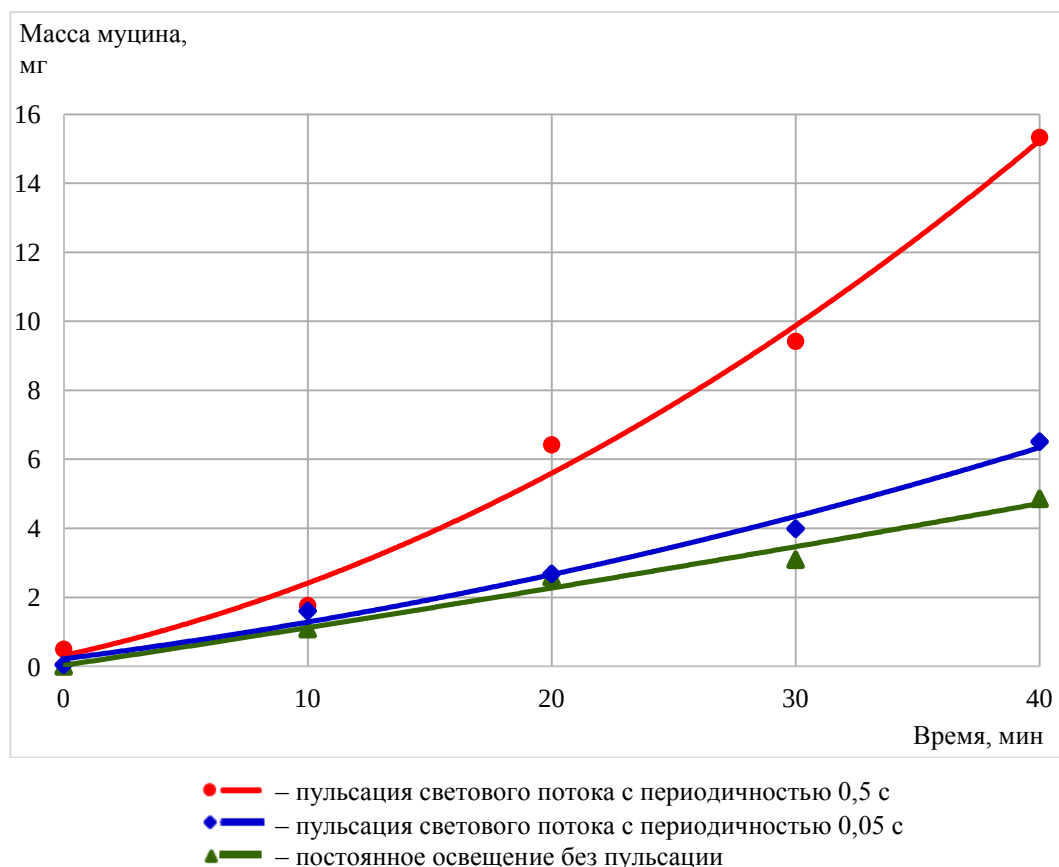


Рис. 8. График зависимости количества выделившегося муцина от режима и времени экспонирования

Таким образом, принятые конструкторские и технологические решения и изготовленный на их основе экспериментальный (лабораторный) прототип светодиодного экстрактора позволили подтвердить возможность и перспективность применения пульсирующего светодиодного излучения для безтравматичной экстракции муцина улиток вида *Helix pomatia Linnaeus*. В сочетании с другими не травмирующими способами экстракции (размещение моллюсков на ребристой поверхности, воздействие мягким паром) предложенные способ и устройство могут быть рекомендованы для повышения эффективности извлечения муцина улиток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Компанцев, Д. В. Разработка инновационной технологии получения нового материала «Клеточный экстракт *Helix aspera* Muller» для использования в косметологии и медицине / Д. В. Компанцев, А. А. Чахирова, Т. Т. Мур-

салова // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2020. – Т. 22. – № 7. – С. 44–49.

2. Das, P.P.G. Methods of extraction of mucin from giant african snail *Achatina fulica* Bowdich/ P.P.G. Das, B. Bhat-tacharyya, S. Bhagawati, D.J. Nath, K. Sarmah// Indian Journal of Entomology.- 2022.- Vol. 84.- №2.- P. 296-300.

3. Wu, J.-Y. Taiwan Shiao Pin Snail Biotechnology Ltd Company: Method for increasing snail mucus production and extracting the same/ J.-Y. Wu, G.-H. Li// Patent Tw, №102104421A.- 2014.

4. Snail mucus extractor «Mucus pro 3.20»// MUCUS PRO.- URL: <https://mucus.pro/extractor/> (дата обращения: 22.07.2024). – Режим доступа: открытый доступ.

5. Lee, J. S. Ageatlabs Co Ltd: Method for manufacturing mucin compex extract for skin recovery based on ultra high pressure process/ J.S. Lee// Patent Kr, №101720680B1. – 2015.

6. Копытько, Я. Ф. Летучие вещества спиртового извлечения из Ахатины гигантской (*Achatina fulica*) / Я. Ф. Копытько// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 12. – С. 76–81.

7. Голембовский, В. В. *Helix pomatia* (виноградная улитка) – как новый источник биологически активных веществ / В. В. Голембовский, Л. А. Пашкова // Ученые записки УО ВГАВМ. – 2022. – Т. 58. – Вып. 2. – С. 84–89.

УДК 621.787.4

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-26-28

*С. И. Кормилицин¹, А. Е. Курбатов², И. П. Петрюк²***ПРИМЕНЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО РОТАЦИОННОГО УПРОЧНИТЕЛЯ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**¹Волгоградский государственный технический университет²Костромская государственная сельскохозяйственная академия

E-mail: fpo@vstu.ru, itf-2020@rambler.ru, ipp2801@rambler.ru

Для расширения технологических возможностей обработки деталей импульсно-ударным поверхностным пластическим деформированием предложено устройство для их ротационной обработки шариками. Предлагаемое устройство позволяет повысить стойкость инструмента, производительность обработки и увеличить твердость поверхностного слоя в 1,2–1,3 раза.

Ключевые слова: упругопластическая деформация, упрочнение поверхностного слоя, машиностроение, обработка металлических поверхностей шариками

*S. I. Kormilitsin¹, A. E. Kurbatov², I. P. Petryuk²***APPLICATION OF IMPROVED ROTARY HARDENER
FOR PROCESSING TITANIUM ALLOY PARTS**¹Volgograd State Technical University²Kostroma State Agricultural Academy

To expand the technological capabilities of processing parts by pulse-impact surface plastic deformation, a device for their rotary processing with balls is proposed. The proposed device allows increasing the tool life, processing productivity and increasing the hardness of the surface layer by 1,2-1,3 times.

Keywords: elastic-plastic contact deformation, hardening of the surface layer, mechanical engineering, processing of metal surfaces with balls

Работоспособность деталей после ремонта, как правило, ниже чем у новых, что связано со снижением их прочностных характеристик в ходе усталостного износа при эксплуатации, поэтому для увеличения ресурса восстановленных деталей часто проводят упрочнение их поверхностного слоя [1]. На практике для повышения циклической прочности и долговечности широко используется поверхностное пластическое деформирование (ППД), технологическое и инструментальное обеспечение которого достаточно хорошо проработано [1–3].

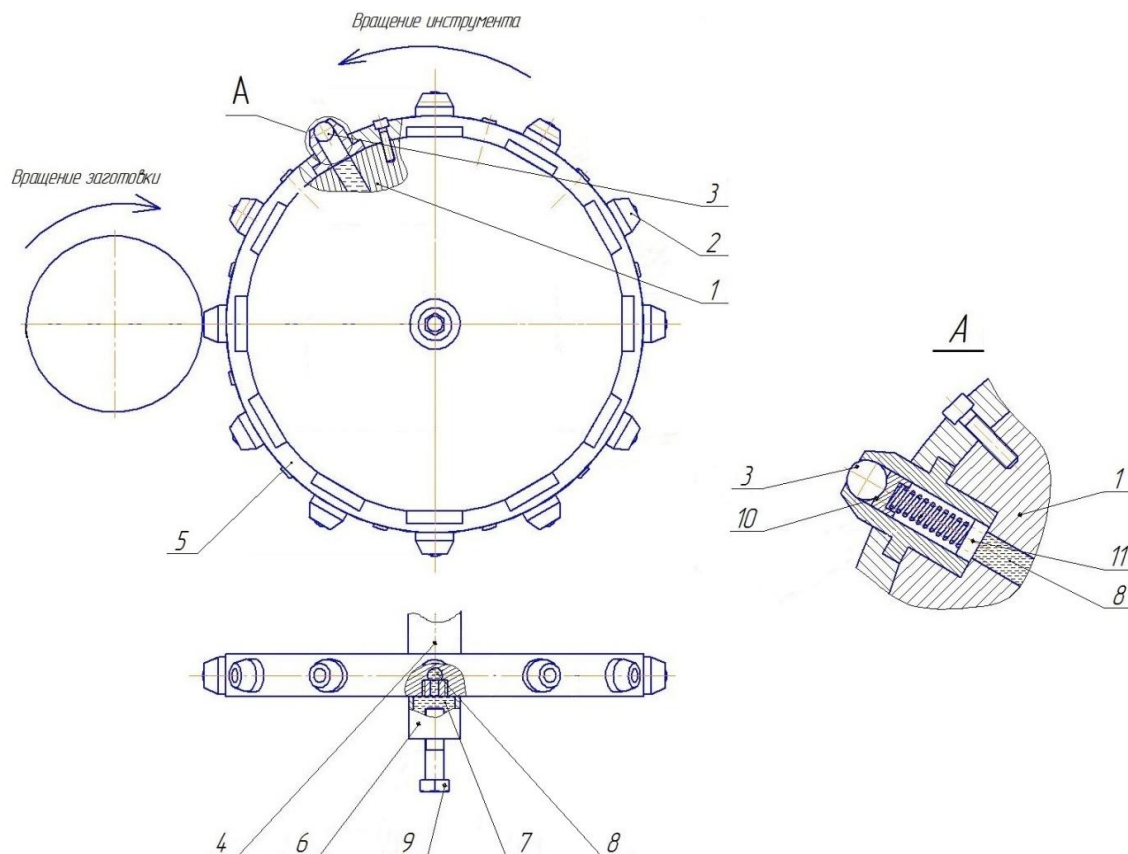
При этом, повысить качество и производительность процесса ППД можно при помощи ротационных упрочнителей [1, 4, 5].

Однако, имеющиеся конструкции устройств для ротационной обработки поверхностей деталей имеют один общий недостаток – выход из строя гнезд под шарiki, что приводит к снижению давления деформирующих элементов на обрабатываемую поверхность и их выкрашиванию; это снижает стойкость инструмента, производительность и качество обработки.

В ходе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на базе Костромской государственной сельскохозяйственной акаде-

мии, связанных с восстановлением деталей машин сельскохозяйственного назначения [6–10], было предложено устройство для ротационной обработки поверхностей деталей шариками, представленное на рисунке.

В предложенной конструкции при ППД создается натяг между обрабатываемой деталью и деформирующими элементами (шариками). Это приводит к тому, что при импульсно-ударном воздействии шарiki не отскакивают от обрабатываемой поверхности, а прижимаются к ней с силой, которая обеспечивается усилием поджатия шарика пружинной (рисунок). Величина усилия поджатия регулируется давлением гидропласта в системе. Деформирующие шарiki, опирающиеся на антифрикционную подложку и поджимаемые пружинной, обеспечивают постоянное давление на обрабатываемую поверхность, что повышает эффективность процесса ППД. Кроме того, в предлагаемой конструкции, усилие поджатия шарика не зависит от частоты вращения корпуса упрочнителя, что позволяет регулировать основные параметры обработки (скорость, усилие, подача) независимо друг от друга и, тем самым, расширяет технологические возможности процесса обработки детали.



Устройство для ротационной обработки деталей шариками:

1 – корпус; 2 – гнезда-обоймы; 3 – закаленные стальные шарики; 4 – вал; 5 – кольцо-сепаратор для крепления гнезд-обойм; 6 – камера; 7 – гидропласт; 8 – каналы для подачи гидропласта; 9 – регулировочный винт; 10 – антифрикционная подложка; 11 – плунжер

Усилие воздействия шарика на деталь определяется по формуле:

$$F = q \left(\frac{d \cdot q}{0,45 \cdot E} \right)^2, \quad (1)$$

где d – диаметр шарика, мм; E – модуль упругости обрабатываемого материала, Н/мм²; q – наибольшее значение удельного давления:

$$q = (1,8 \dots 2,1) \cdot \sigma_T, \quad (2)$$

где σ_T – предел текучести, обрабатываемого материала, Н/мм².

Для промышленных испытаний была изготовлена партия цилиндрических заготовок из титанового сплава ВТ22, который находит широкое применение для высоконагруженных конструкций, в том числе – сварных. Шероховатость поверхности образцов составляла до $Ra = 3,2$ мкм с микротвердостью 4,1...4,2 ГПа.

Диаметр корпуса установки – 270 мм; деформирующие шарики диаметром 10 мм из закаленной стали ШХ15. Процесс ППД проводился на токарно-винторезном станке 16К20, в резцедержателе которого было установлено предлагаемое устройство. При обработке по-

верхности детали использовали СОЖ (смесь индустриального масла и керосина).

Импульсно-ударное поверхностное пластическое деформирование проводили в следующем режиме:

частота вращения корпуса – 2600 мин⁻¹;
частота вращения заготовки – 500 мин⁻¹;
продольная подача инструмента – 50 мм/мин;
число проходов – 3;
натяг – 0,2 мм;
усилия обкатывания – 170...175 Н.

Контроль параметров обрабатываемых образцов проводился микрометром МК50-1 и на профилометре мод. 283, тип АП, ГОСТ 19300-86. Измерение микротвердости поверхностного слоя образцов проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 на микротвердометре ПМТ-3М при нагрузке на индентор 0,5 Н и времени выдержки 10 с. Структура поверхностного слоя изучалась после механического шлифования и травления с помощью оптического металлографического микроскопа МЕТАМ РВ-21.

После поверхностного упрочнения диаметр заготовки уменьшился на 0,02 мм; микро-

твердость увеличилась до 5,2...5,4 ГПа; глубина наклепанного слоя находилась в пределах 0,15...0,20 мм. При этом, эксперимент показал, что стойкость инструмента повышается на 45...55 %.

Таким образом, предлагаемое устройство для ротационной обработки деталей шариками позволит расширить технологические возможности поверхностного пластического деформирования, повысить стойкость инструмента, производительность и качество процесса обработки поверхностного слоя восстанавливаемых деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чадин, А. Н. Основы технологии производства и ремонта автомобилей / А. Н. Чадин. – Великий Новгород : НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2005. – 351 с.
2. Влияние упрочняющей обкатки валов роликами на механические свойства поверхностного слоя / Ю. И. Сидякин, С. Ю. Абакумова, С. И. Агапов, Д. В. Заярный, Г. А. Бауэр // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 39–42.
3. Сидякин, Ю. И. Повышение эффективности упрочняющей обработки валов обкаткой их роликами или шариками / Ю. И. Сидякин // Вестник машиностроения. – 2001. – № 2. – С. 43–49.
4. Пат. 2155126 РФ, МПК В24В 39/02, В24В 39/04, В24В 39/06. Способ центробежной обработки деталей шариками / Казаков В. М. – Заявл. 10.11.1998 ; опубл. 27.08.2000, Бюл. № 24.
5. Пат. 2411118 РФ, МПК В24В 39/00. Устройство для центробежной обработки ППД с пневматическим буфером / Степанов Ю. С., Киричек А. В., Сафронов В. В. [и др.]. – Заявл. 22.06.2009 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4.
6. Разработка автоматической системы управления подачей гидросуппорта токарного станка / И. Ш. Кадыров, Ж. Т. Темирбеков, Б. С. Турусбеков, М. С. Волхонов // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 1. – С. 10–16.
7. Разработка универсальной автоматической системы управления технологическим процессом обработки отверстий многолезвийным инструментом / Ж. Т. Темирбеков, И. Ш. Кадыров, Б. С. Турусбеков, М. С. Волхонов // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2020. – № 1 (30). – С. 114–119.
8. Приспособление для установки крестовины карданного вала / А. В. Косарев, А. Е. Курбатов, С. В. Жукова, Г. С. Березовский // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе : сб. ст. 71-й междунар. науч.-практ. конф. Т. 2 – Караваево : Костромская ГСХА, 2020. – С. 168–172.
9. Работоспособность соединений деталей сельскохозяйственной техники / А. Б. Турыгин, А. В. Рожнов, И. П. Петрюк, И. С. Жуков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (217) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – С. 60–63.
10. Курбатов, А. Е. Вибрационный роликовый накатник для обработки наружных поверхностей валов / А. Е. Курбатов, И. П. Петрюк, С. И. Кормилицин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (279) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 27–29.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-28-36

П. В. Малинин¹, П. Ю. Бочкарев^{1, 2}

УСТАНОВЛЕНИЕ КООРДИНАТНЫХ СВЯЗЕЙ КОМПОНЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ЗОНЫ ПРОХОДНОЙ БЕСЦЕНТРОВОЙ ОБРАБОТКИ

¹ Камышинский технологический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

² Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

E-mail: Mpv92@yandex.ru, bpy@mail.ru

Выбор в качестве метода изготовления высокоточных деталей операций бесцентрового шлифования обуславливается обеспечением стабильности качества обрабатываемых поверхностей и высокой производительностью. В отдельных отраслях промышленности изготовление отдельных изделий без использования данного метода становится сложнореализуемой задачей. Однако существуют серьезные ограничения его практической реализации в связи с недостаточно проработанной научно-методической базой вопросов технологической подготовки. Представлены исследования по совершенствованию проектных процедур этапов технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования, включающих формализацию проектных действий проведения работ по установлению координатных взаимосвязей между размерными характеристиками обрабатываемой поверхности и компонентов технологической системы оборудования в пространстве всей рабочей зоны станка. Описана блок-схема алгоритмического обеспечения автоматизированного выполнения данной проектной процедуры. Результаты проверки разработанных теоретических моделей в условиях действующих производственных комплексов позволили сделать заключение об их работоспособности с учетом особенностей конкретного производства и складывающейся производственной ситуации. Разработанные модели развивают методические положения использования операций проходного бесцентрового шлифования, направленные на разработку систем автоматизированного проектирования технологических процессов и эффективного функционирования производственных систем, состоящих из групп бесцентрового шлифовального оборудования.

Ключевые слова: механообрабатывающие комплексы, технологическая подготовка производства, бесцентрово-шлифовальное оборудование, проходное бесцентровое шлифование, наладка станков

P. V. Malinin¹, P. Yu. Bochkarev^{1, 2}

**ESTABLISHING COORDINATE RELATIONSHIPS
OF THE COMPONENTS OF THE TECHNOLOGICAL STRUCTURE
IN THE SPACE OF THE CENTERLESS PROCESSING ZONE**

¹ **Kamyshinsky Institute of Technology (branch) Volgograd State Technical University**

² **Saratov State University of Genetics, Biotechnology
and Engineering named after N. I. Vavilov**

The choice of centerless grinding operations as a method of manufacturing high-precision parts is determined by ensuring the stability of the quality of the treated surfaces and high productivity. In certain industries, the manufacture of individual products without using this method becomes a difficult task to implement. However, there are serious limitations to its practical implementation due to the insufficiently developed scientific and methodological base of technological training issues. Research is presented on improving the design procedures for the stages of technological preparation of centerless grinding operations, including the formalization of design actions to establish coordinate relationships between the dimensional characteristics of the treated surface and components of the technological system of equipment in the space of the entire working area of the machine. A flowchart of algorithmic support for the automated execution of this design procedure is described. The results of the verification of the developed theoretical models in the conditions of existing production complexes allowed us to draw a conclusion about their operability, taking into account the specifics of a particular production and the current production situation. The developed models develop methodological provisions for the use of through-pass centerless grinding operations aimed at the development of computer-aided design systems for technological processes and the effective functioning of production systems consisting of groups of centerless grinding equipment.

Keywords: machining complexes, technological preparation of production, centerless grinding equipment, through-through centerless grinding, machine tool commissioning

Введение

Обеспечение качества выполнения механообработки высокоточных деталей во многом определяется соблюдением требования обеспечения стабильности заданных конструктивных параметров. С этих позиций определяющим при технологическом обеспечении производства является выбранные методы обработки наиболее ответственных поверхностей с учетом организационно-экономических факторов, в первую очередь производительности. Анализируя эксплуатационные характеристики изделий машиностроения можно заключить, что наиболее часто в качестве поверхностей деталей непосредственно контактирующих с другими поверхностями в сборочном узле являются цилиндрические поверхности, к которым предъявляются повышенные требования как к размерным, так и пространственно-геометрическим характеристикам [1–3].

Наиболее перспективный с данных позиций, среди методов обработки поверхностей цилиндрической формы выделяется бесцентрово-шлифовальная обработка, которая зарекомендовала себя как высокопроизводительная и стабильная. В ряде отраслей промышленности таких, как приборостроение и подшипниковая изготовление отдельных изделий без использования данного метода становится сложно реализуемой задачей. Однако до настоящего времени существуют серьезные ограничения его промышлен-

ленного использования, связанные с недостаточно проработанной научно-методической базой вопросов технологической подготовки [4–7].

Материалы и методы

Отсутствие промышленно апробированных методик, обеспечивающих проведение в условиях действующих производств работ, связанных с наладкой и управлением технологических операций, выполняемых на станках бесцентрово-шлифовальной группы, предопределило прослеживающуюся на протяжении ряда лет тенденцию на сокращение использования данного вида обработки. Для детального изучения и установления причин сложившегося состояния по данному вопросу были выполнены работы, включающие обследование предприятий Поволжского региона, использующих оборудование бесцентрово-шлифовальной группы. Собранная и систематизированная информация, включающая проведение опроса наладчиков станков с оформлением разработанных форм, изучение конструкторско-технологической документации, состава оборудования и походов к организации технологической подготовки и функционировании специализированных для данных методов обработки производственных подразделений, позволила получить реальное представление по использованию бесцентрово-шлифовального оборудования в отечественных производствах в настоящее время [8].



Рис. 1. Структура подходов в действующих производствах к процедурам технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования

На рисунке 1 приведены отдельные результаты сделанного анализа, на основе, которого

сформулированы приоритетные направления, по которым предложено проведение научно-

исследовательских работ в части исследований касающихся установления взаимосвязей между поверхностью заготовки и элементами технологической системы во всей зоне обработки для проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Выполненные исследования, касающиеся совершенствования проектных процедур этапов наладки проходного бесцентрового шлифования, позволили разработать модели для определения наладочных параметров, управление которыми возможно с применением рабочих органов станка с учетом реального состояния средств технологического оснащения [9–11]. Выведенные зависимости и результаты их апробации в производственных условиях, позволили перейти к следующим стадиям формализации проектных действий этапов технологической подготовки, в части проведения работ по установлению координатных взаимосвязей между размерными характеристиками обрабатываемой поверхности и элементами технологической системы оборудования в пространстве всей рабочей зоны станка. Первоочередной задачей здесь являлось определение для сечений рабочей зоны станка расположение точек контакта поверхности заготовки со шлифоваль-

ным, ведущим кругами и опорной поверхностью ножа (рис. 2).

В качестве исходных данных, кроме установленных наладочных параметров, при определении расположения точек контактов обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы в i -м сечении зоны обработки используются: L_i – расстояние между рассматриваемым сечением и сечением с горизонтальным расположением линии, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, мм; u – угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости, градусы; $D_{\delta i}$ – диаметр ведущего круга в рассматриваемом сечении, мм; d_i – диаметр обрабатываемой поверхности в рассматриваемом сечении, мм.

Созданы модели, позволяющие установить размерные и угловые значения возникающих связей определяющих пространственное расположение точек контакта, обозначенных на рис. 2. В качестве примера представлены зависимости: для расчета расстояния между центрами шлифовального круга и обрабатываемой поверхности; угла между линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, и линией, соединяющей центры ведущего круга и заготовки.

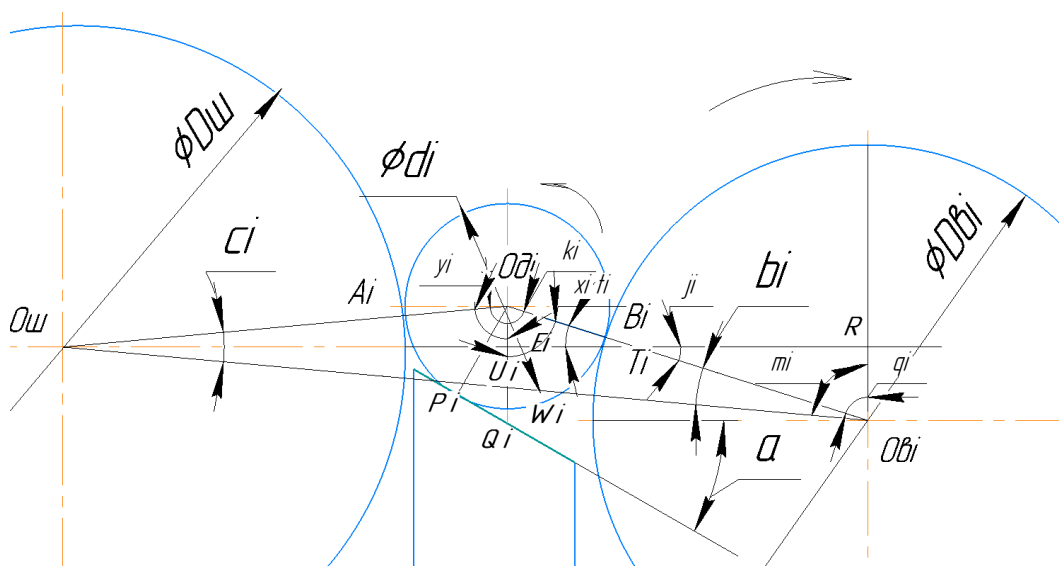
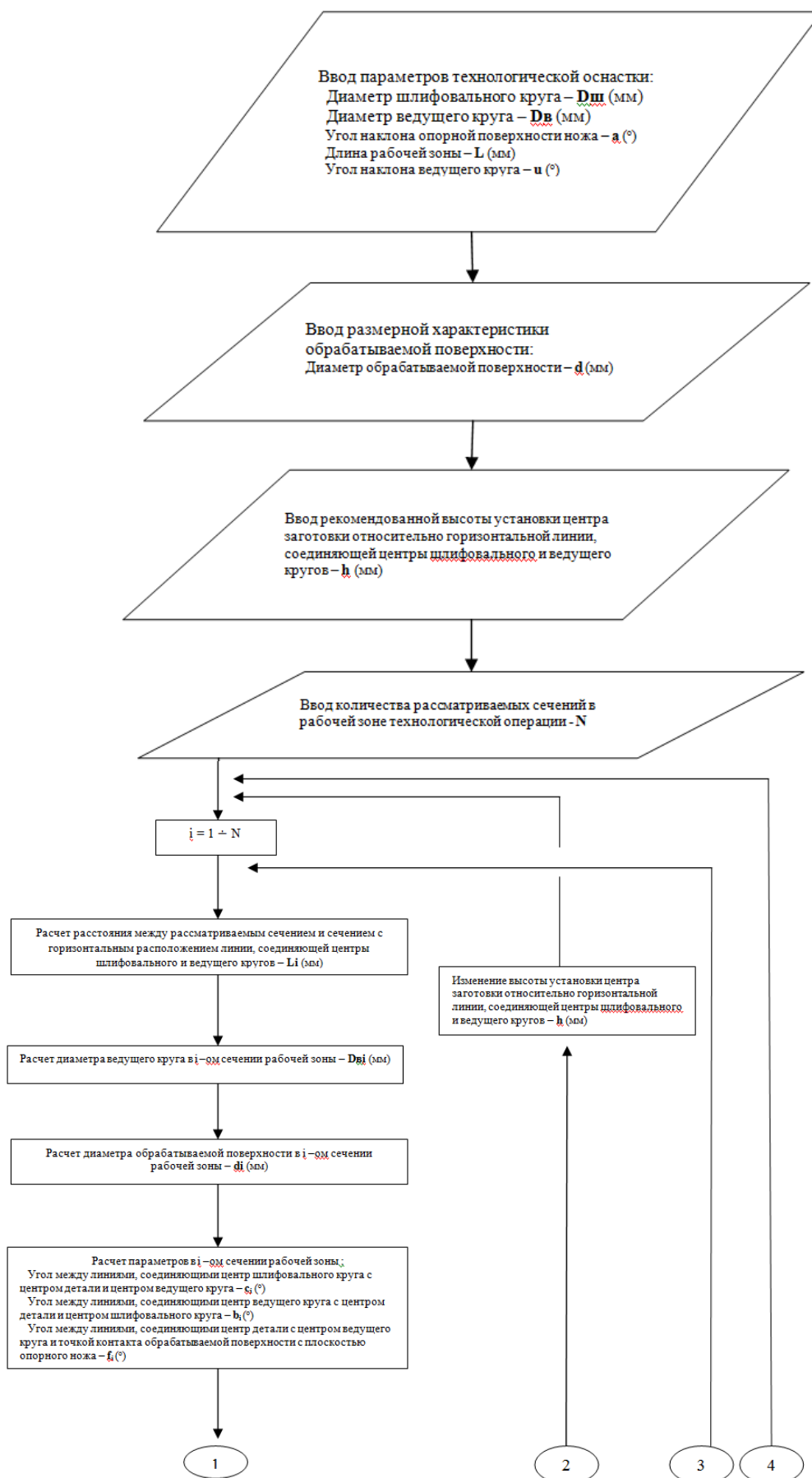


Рис. 2. Схема наружного проходного бесцентрового шлифования в i -м сечении рабочей зоны

$$|O_{\delta i} O_i| = \sqrt{\left(\left(\frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left(\frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right)^2 + \left(\frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right)^2 - \left(\left(\frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left(\frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right) + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right) \cdot \cos b_i} \\ \cos b_i = \frac{|O_{\delta i} O_i|^2}{\left(\left(\frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left(\frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right)^2 + \left(\frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right)^2 - 2 \left(\left(\frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left(\frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right) + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right) \cdot \cos b_i}$$



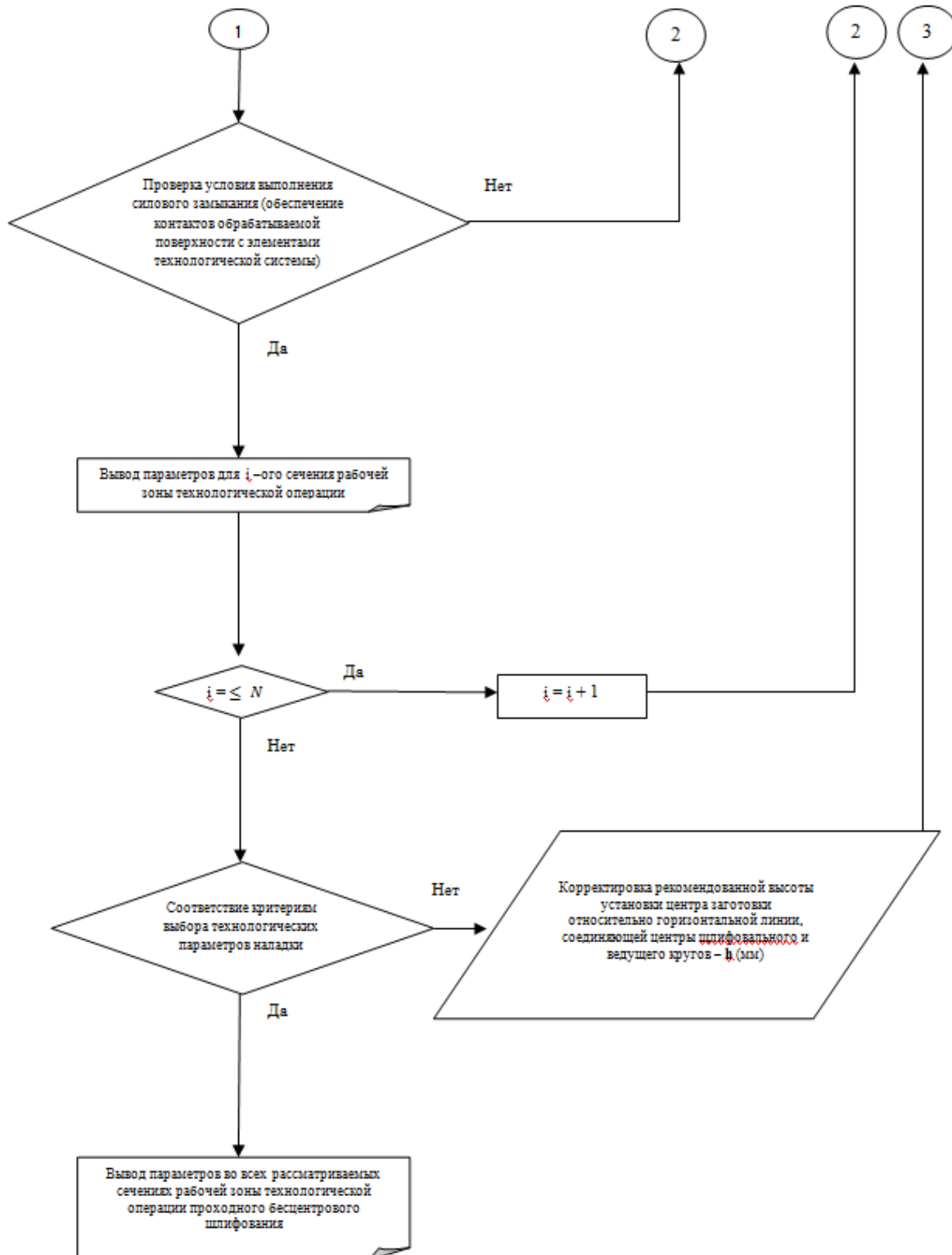


Рис. 3. Блок-схема расчета параметров в сечениях рабочей зоны операций проходного бесцентрового шлифования

На рисунке 3 представлена блок-схема расчета размерных параметров в сечениях рабочей зоны операций проходного бесцентрового шлифования и предназначенная для определения пространственного расположения точек

контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы. Реальное состояние технологической системы включает следующую информацию: действительные диаметры шлифовального и ведущего кругов в се-

чении при расположении центров шлифовального и ведущего кругов на одной горизонтальной линии, угол наклона опорной поверхности установочного ножа, длина рабочей зоны, угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости. На основе нормативных рекомендаций [12] выбирается первоначальное значение высоты установления центра обрабатываемой поверхности относительно горизонтальной линии, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов.

С учетом специфических особенностей проектируемых технологических операций и степени требуемой детализации решаемых задач устанавливается количество сечений в рабочей зоне технологической операции, для которых будут проводиться расчеты, и организуется цикловая стратегия выполнения расчетных процедур. Последовательно рассчитываются пространственные параметры взаимодействия заготовки со шлифовальным, ведущим кругом и поверхностью ножа в i -х сечениях рабочей зоны обработки с использованием разработанных моделей.

Проводится проверка выполнения условия силового замыкания, заключающаяся в обеспечении контактов обрабатываемой поверхности во всех трех точках с элементами технологической системы. В случае невыполнения условия вносится скорректированное значение выбранного из рекомендованных значений высот, предлагаемых в научной литературе.

Разработано программное обеспечение выполнения рассматриваемой проектной процедуры, позволяющее реализовать, в том числе возможность проведения анализа нескольких вариантов, которые отличаются параметрами наладки технологической операции, что позволяет осуществлять выбор рациональных решений на последующих этапах проектирования технологических операций.

Проверка разработанных моделей выполнялась для данных изготовления деталей на станках модели Sasl 200*500 в условиях ПР-8 АО «ЕПК Саратов» («Кольцо наружное» подшипника 6-170314Ш1.01 ГОСТ 520–2011), цеха № 24 АО «ЕПК Саратов» («Ролик прямолинейный с радиусными скосами, II степени сложности»). На рис. 4–6 представлены графики результатов изменения отдельных значений параметров в различных сечениях рабочей зоны обработки при трех величинах углов наклона ведущего круга в вертикальной плоскости. Приведенные результаты, получены для первого перехода операции предварительного наружного шлифования цилиндрической поверхности («Кольцо наружное» подшипника 6-170314Ш1.01 ГОСТ 520–2011).

Представлены изменения значений параметров в i -м сечении рабочей зоне обработки методом проходного бесцентрового шлифования:

– расстояния между центрами шлифовального и ведущего кругов ($O_{ш}O_{вi}$);

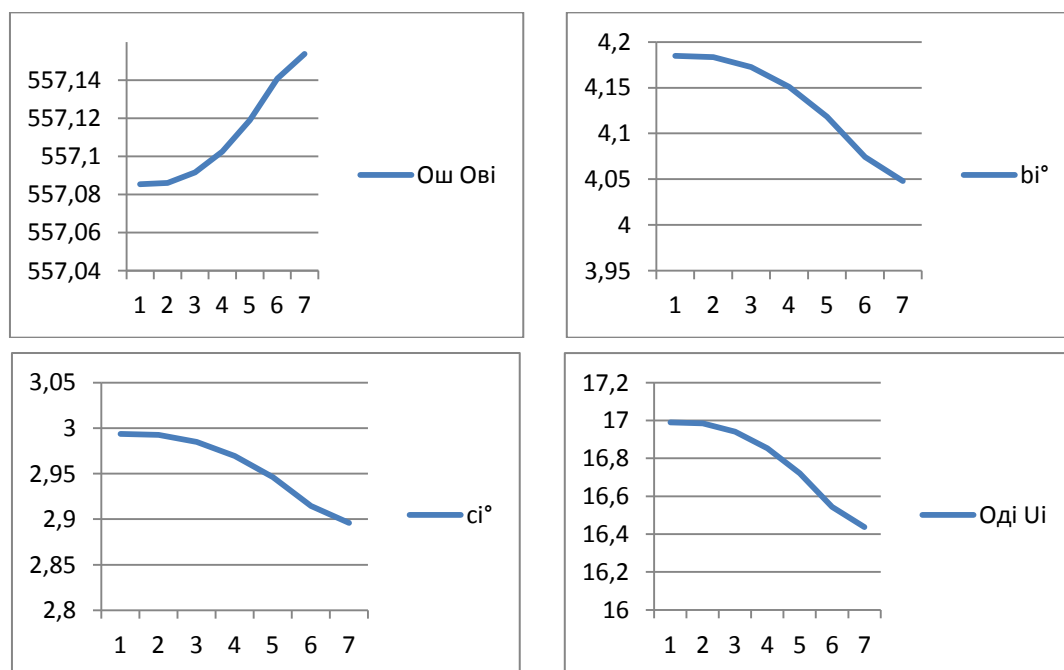


Рис. 4. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости $\alpha=1^\circ$

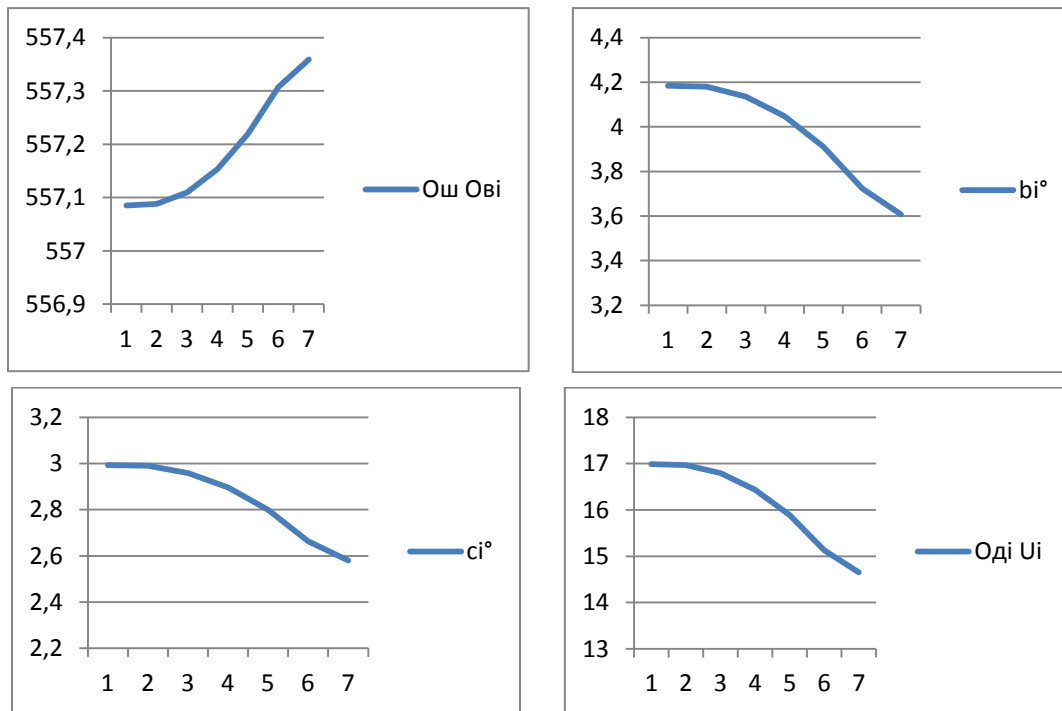


Рис. 5. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости $\alpha=2^\circ$

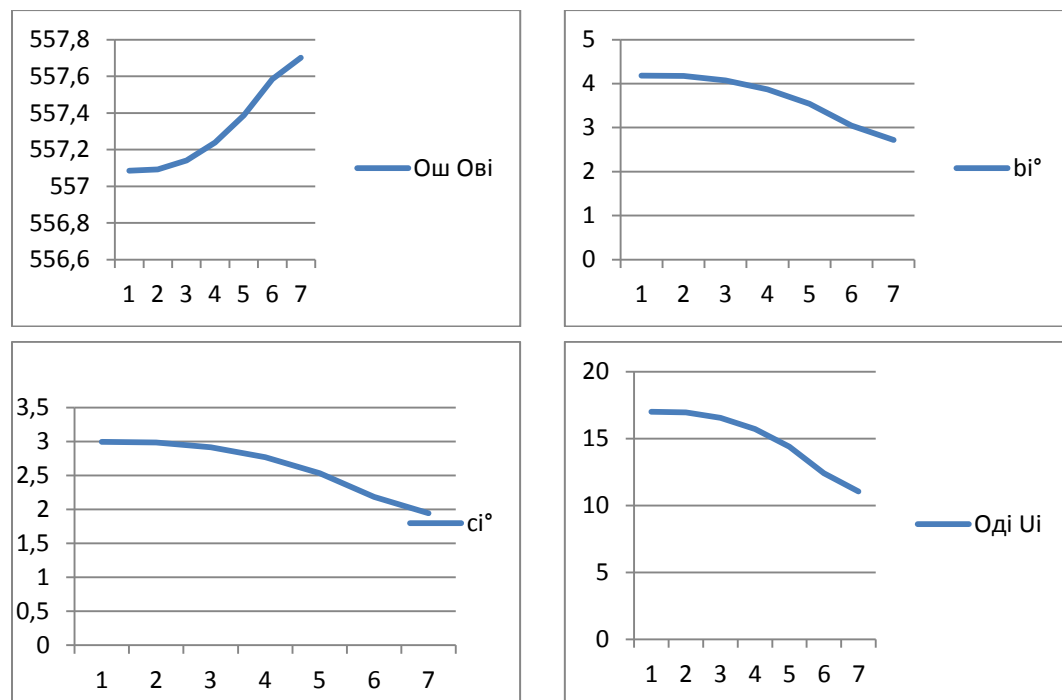


Рис. 6. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости $\alpha=3^\circ$

– угла между линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, и линией, соединяющей центры ведущего круга и заготовки (b_i);

– угла между линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, и линией,

соединяющей центры шлифовального круга и заготовки (c_i);

– расстояние между центром заготовки и линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов ($O_{дi}U_i$).

Проведенные теоретические и эксперимен-

тальные исследования подтвердили необходимость учета взаимовлияния рассматриваемых характеристик и обосновывают необходимость в серьезной корректировке методических основ технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования, связанных с назначением наладочных параметров по данным о реальном состоянии элементов технологической системы.

Выводы

Проведенные исследования состояния технологического обеспечения операций бесцентрового шлифования на основе сбора и обработки информации из научно-справочных источников и действующих в настоящее время машиностроительных производств позволили обосновать направления развития методического обеспечения процедур подготовки и реализации процессов обработки деталей, исключая преимущественно субъективный фактор процесса наладки оборудования и управления процессом.

В развитии научно-методической базы технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования, касающейся определения наладочных параметров с учетом реальных размерных характеристик шлифовальных и ведущих кругов, размеров заготовок, проведены работы по установлению взаимосвязей между характеристиками обрабатываемой поверхности и компонентами технологической системы в пространстве всей рабочей зоны станка. Создано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для автоматизированного выполнения данной проектной процедуры. Комплексная проверка разработанных теоретических моделей в условиях действующих производственных комплексов, состоящих из станков бесцентрово-шлифовальной группы, позволила сделать заключение об их работоспособности с учетом особенностей конкретного производства и складывающейся производственной ситуации.

Предложенные формализованные модели дали возможность подтвердить и развить выдвинутые принципы разрабатываемых методических положений наладки технологических

операций проходного бесцентрового шлифования, направленных на разработку систем автоматизированного проектирования технологических процессов и эффективного функционирования производственных систем, состоящих из групп бесцентрового шлифовального оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 4-е изд., перераб. и доп. – 1986. – 496 с.
2. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 568 с.: ил.
3. Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Сулова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
4. Слонимский, В. И. Теория и практика бесцентрового шлифования / В. И. Слонимский. – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 283 с.
5. Прохоров, А. Ф. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков / А. Ф. Прохоров, К. Н. Константинов, Л. П. Волков. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.
6. Филькин, В. П. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования / В. П. Филькин, И. Б. Колтунов. – М. : Машиностроение, 1971. – 204 с.
7. Муцянюк, В. И. Бесцентровое шлифование / В. И. Муцянюк, А. Я. Братчиков. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 96 с.
8. Малинин, П. В. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 36–39.
9. Митин, С. Г. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Автоматизация в промышленности. – 2018. – № 2. – С. 45–51.
10. Малинин, П. В. Определения наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, И. И. Артемов, М. О. Гончаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 144–153.
11. Малинин, П. В. Взаимосвязанность сил при проходном бесцентровом шлифовании / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, И. И. Артемов, М. О. Гончаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 4.
12. Ашкиназий, Я. М. Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка / Я. М. Ашкиназий. – М. : Машиностроение, 2003. – 352 с.: ил.

УДК 621.19

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-37-40

В. Е. Овсянников¹, И. М. Ковенский¹, Г. Н. Шпитко²

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ
ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

¹ Тюменский индустриальный университет

² Курганский государственный университет

E-mail: vik9800@mail.ru, kovenskijim@tyuiu.ru, shpitko@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы технологического обеспечения точности формы деталей, которые входят в состав запорной арматуры, используемой при добыче и транспортировке нефти и газа. В качестве метода финишной обработки рассматривается процесс алмазного выглаживания. Используется схема выглаживания с жестким закреплением индентора, так как именно данная схема дает возможность исправления погрешности формы, которая была получена на предыдущих операциях механической обработки. В качестве обрабатываемых материалов рассматривались стали после упрочнения посредством закалки токами высокой частоты до твердости 58...60 HRC. Обработка производилась на токарном станке с ЧПУ. В ходе эксперимента изучалась текстура профиля в поперечном сечении и влияние на нее вибраций, зависимость параметров точности формы в поперечном сечении (в нашем случае среднеквадратического отклонения профиля Fq) от подачи и зависимость мощности вибросигнала от подачи. Регистрация вибросигнала производилась с использованием датчика-акселерометра. В ходе исследований было установлено, что вклад вибраций при увеличении подачи в общую текстуру профиля возрастает. Также было установлена тесная корреляционная связь между мощностью вибросигнала и среднеквадратическим отклонением профиля. Кроме того, исследованы вопросы технологической наследственности.

Ключевые слова: точность формы, отклонение, вибрации, обеспечение, наследственность

V. E. Ovsyannikov¹, I. M. Kovensky¹, G. N. Shpitko²

**PROCESS ASSURANCE OF SHAPE ACCURACY
OIL AND GAS EQUIPMENT PARTS**

¹ Industrial University of Tyumen

² Kurgan State University

The article discusses the issues of technological support for the accuracy of the shape of parts that are part of the shutoff valves used in the production and transportation of oil and gas. Diamond ironing is considered as a finishing method. The ironing scheme with rigid fixation of the indenter is used, since it is this scheme that makes it possible to correct the shape error that was obtained in previous machining operations. As processed materials, steels were considered after strengthening by hardening with high-frequency currents to a hardness of 58... 60 HRC. Machining was done on a CNC lathe.

In the course of the experiment, the profile texture in the cross section and the effect of vibrations on it, the dependence of the shape accuracy parameters in the cross section (in our case, the standard deviation of the Fq profile) on the feed and the dependence of the vibration signal power on the feed were studied. The vibration signal was recorded using an accelerometer sensor. In the course of research, it was found that the contribution of vibrations with increasing supply to the overall profile texture increases. There was also a strong correlation between the vibration power and the standard deviation of the profile. In addition, issues of technological heredity have been investigated.

Keywords: shape accuracy, deviation, vibrations, provision, heredity

Введение

Многочисленными исследованиями [1–3] установлено, что точность формы оказывает значимое влияние на эксплуатационные свойства соединений. При этом к деталям, которые входят в состав запорной арматуры, предъявляются достаточно жесткие требования по данным параметрам (отклонения от овальности в среднем составляют 0.01–0.02 мм). Традиционно в качестве метода финишной обработки

для упрочненных материалов используется шлифование. Однако применительно к деталям запорной арматуры использование абразивной обработки не всегда целесообразно ввиду того, что после нее наблюдается эффект шаржирования, что снижает эксплуатационные свойства соединений.

Перспективным в данном случае является использование алмазного выглаживания вместо шлифования. Однако наиболее широко исполь-

зуемый в промышленной практике метод выглаживания с упругой схемой закрепления индентора для нашего случая неприменим. Объясняется это тем, что при использовании упругого выглаживания исходная погрешность формы не исправляется. Поэтому необходимо применять выглаживание с жесткой схемой. На сегодняшний день, использование данного метода обработки ограничено тем, что процесс сопровождается резким переходом из зоны устойчивости процесса, в зону неустойчивой обработки [3; 4]. Особенно изучение устойчивости, а также особенностей формирования текстуры профиля в поперечном сечении актуально для обработки на станках с ЧПУ.

Также важным аспектом, который позволяет обеспечить требуемую точность формы, является изучение технологической наследственности. Следует отметить, что данные вопросы довольно подробно изучены применительно к обеспечению шероховатости поверхности (при выглаживании с жесткой схемой закрепления индентора) [5], однако для точности формы в этом смысле есть определенные пробелы.

Цель работы: изучение особенностей формирования профиля деталей в поперечном сечении при обработке выглаживанием с жесткой схемой закрепления индентора, а также вопросов влияния вибраций технологической системы, режимов и технологической наследственности.

Материалы и методы исследования: в качестве обрабатываемого материала использовалась сталь марки 12ХН3А после цементации и закалки ТВЧ. Из данной стали изготавливается достаточно широкий спектр деталей запорной арматуры, например, шток клиновой задвижки. Твердость обрабатываемого материала составляла 58...60 HRC. Измерения твердости осуществлялось при помощи портативного твердомера ТН130. Обработка проводилась на токарном станке с ЧПУ марки 1И611ПФ3. Измерения профиля детали в поперечном сечении выполняли непосредственно на станке с использованием индикаторной стойки. Регистрация сигналов виброакустики производилась при помощи датчика-акселерометра модели KD-45 фирмы Bruel and Kjaer. После записи сигнал подвергался фильтрации в частотном диапазоне от 12 до 16 кГц. Также вычислялась мощность сигнала (Sw). Обработка сигнала выполнялась с использованием оригинального программного обеспечения.

Анализ текстуры профиля в поперечном сечении выполнялся на основе теории случайных процессов и фрактальной геометрии [6]. При этом, на основе использования оригинального программного обеспечения, определялся уровень случайной компоненты в текстуре профиля в поперечном сечении (γ) и показатель Херста (H). При изучении технологической наследственности, анализировался профиль в поперечном сечении, полученный предварительным чистовым точением и степень влияния на конечную погрешность формы.

Результаты исследований и их обсуждение

Пример круглограммы обработанной поверхности приведен на рис. 1:

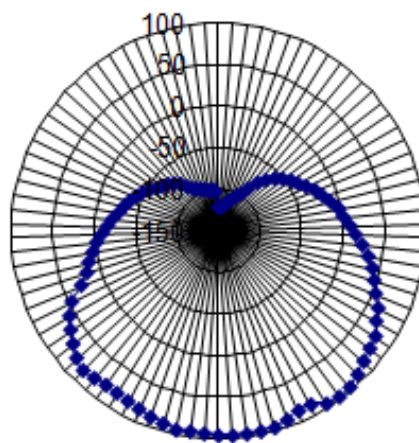


Рис. 1. Круглограмма при $S=40$ мм/мин

В таблице приведен фрагмент результатов исследования влияния подачи на среднеквадратическое отклонение профиля (Fq) и мощность вибросигнала.

Влияние подачи на среднеквадратическое отклонение профиля (Fq) и мощность вибросигнала

S , мм/мин	Fq , мкм	Sw , Дб
4	9,44	$9,8 \cdot 10^{-7}$
8	11,01	$13,5 \cdot 10^{-7}$
12	10,5	$3,42 \cdot 10^{-7}$
16	2,96	$3,68 \cdot 10^{-7}$
20	65,147	$232 \cdot 10^{-7}$
40	65,8	$452 \cdot 10^{-7}$
60	7,7	$0,161 \cdot 10^{-7}$
80	14,1	$0,362 \cdot 10^{-7}$
100	25,9	$23,2 \cdot 10^{-7}$
120	16,45	$2,19 \cdot 10^{-7}$

Расчеты коэффициента взаимной корреляции между факторами S-Fq, S-Sw и Fq-Sw показали тесную взаимосвязь между ними (коэффициент корреляции составлял 0.86...0.94).

На рисунке 2 приведены зависимости уровня случайной компоненты профиля и показателя Херста от подачи для поверхностей, которые обработаны выглаживанием с жестким закреплением индентора.

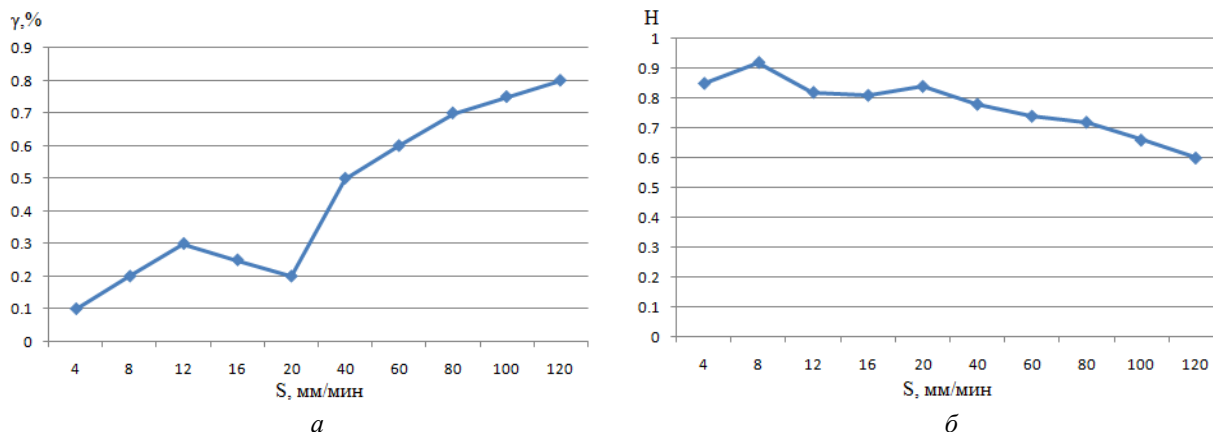


Рис. 2. Зависимости $\gamma=f(S)$ и $H=f(S)$

На рисунке 3 приведен пример определения коэффициента передачи N_{i-1}/N_i для што-

ков, обработанных различными методами обработки.

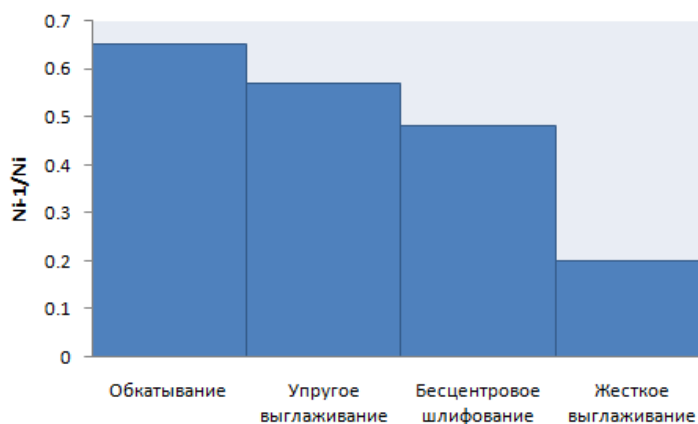


Рис. 3. Значения коэффициента передачи

Выводы:

1. Исследования показали тесную прямую взаимосвязь между параметрами вибросигнала, точности формы в поперечном сечении и технологическими режимами (коэффициент корреляции составлял 0.86..0.94).

2. В ходе анализа текстуры профиля в поперечном сечении (см. зависимости на рис. 2), установлено, что вклад вибраций в текстуру профиля растет с увеличением подачи. Таким образом, вибросигнал в диапазоне от 12 до 16 кГц можно использовать как диагностический признак при обработке на станках с ЧПУ.

3. Алмазное выглаживание с жесткой схемой закрепления индентора позволяет эффек-

тивно исправлять погрешность формы, полученную на предыдущих операциях (коэффициент передачи составляет 0.15...0.25). Однако при решении задачи технологического обеспечения точности формы, необходимо получать определенную исходную точность и при чистовом точении (т.к. не вся исходная погрешность устраняется).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Сулов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Заковоротный, В. Л. Системный синергетический синтез управления динамикой металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В. Л. Заковоротный [и др.]. – Ростов-на-Дону: Изд. центр Дон. гос. техн. ун-та, 2008. – 324 с.

3. Бржозовский, Б. М. Стабилизация динамического состояния станка как основа решения задач повышения точности механической обработки деталей / Б. М. Бржозовский, М. Б. Бровкова, В. В. Мартынов, И. Н. Янкин // Вестник СГТУ (Надежность машин). – 2006. – № 3(14). – С. 61–70.

4. Тугенгольд, А. К. Принципы концептуального подхода к созданию подсистемы «ИНСТРУМЕНТ» в Смарт-паспорте многооперационного станка / А. К. Тугенгольд,

А. И. Изюмов // Вестник ДГТУ. – № 2. – 2014. – С. 33–41.

5. Губанов, В. Ф. Инновации при выглаживании с жестким закреплением индентора / В. Ф. Губанов, В. В. Марфицын, В. Е. Овсянников. – Saarbrücken: LAP, 2012. – 124 с.

6. Остапчук, А. К. Применение теории фракталов в математическом моделировании и технике : учеб. пособие / А. К. Остапчук, В. Е. Овсянников. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2009. – 76 с.

УДК 001.51:621-023

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-40-44

С. Г. Поступаева, А. Ю. Дуденков, А. А. Яковлев, Ж. С. Тихонова

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА
ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ
НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: posvetlana@mail.ru, tosha1net@yandex.ru,
yaa_777@mail.ru, tikhonovazhs@yandex.ru

В статье показано применение инженерно-физического метода для разработки автоматического устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка с ЧПУ на начальных этапах проектирования. Рассмотренные этапы конструирования технического решения позволяют связать модель ФПД устройства с его последующей конструктивной реализацией на основе выделения элементарных конструктивных функций.

Ключевые слова: поисковое конструирование, инженерно-физический метод, модель физического принципа действия, фрезерный станок с ЧПУ

S. G. Postupaeva, A. Yu. Dudenkov, A. A. Yakovlev, Zh. S. Tikhonova

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC DEVICE FOR COOLING
THE CUTTING ZONE OF A CNC MILLING MACHINE
AT THE INITIAL STAGES OF DESIGN**

Volgograd State Technical University

The article shows the application of the engineering-physical method for the development of an automatic cooling device for the cutting zone of a CNC milling machine at the initial stages of design. The considered stages of designing a technical solution allow us to link the FPD model of the device with its subsequent design implementation based on the allocation of elementary design functions.

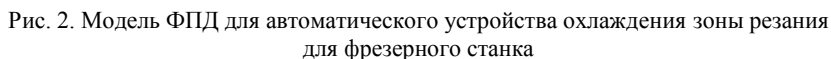
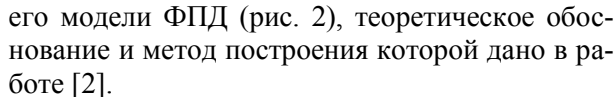
Keywords: search design, engineering-physical method, model of the physical principle of action, CNC milling machine

В настоящее время в области машиностроения широко применяются методы поискового конструирования. Эти методы позволяют значительно ускорить и усовершенствовать начальные, наиболее креативные этапы проектирования сложных технических систем, в частности, при разработке высокоэффективных устройств и механизмов. На ранних этапах проектирования определяют не только физический принцип действия (ФПД) будущего устройства и его общую архитектуру, но и тщательно подбирают функциональные элементы, учитывая множество параметров. В этой связи становится актуальной задача оптимизации систем охлаждения, особенно

важных для многих технологических процессов, таких как обработка металлов резанием.

Данная статья посвящена использованию инженерно-физического метода для разработки оптимальной конструкции автоматического устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка с ЧПУ на этапах построения модели ФПД и выявления элементарных функций устройства [1]. Предлагаемый метод представляет собой эффективный инструмент, позволяющий моделировать сложные физические процессы, происходящие в системе охлаждения зоны резания, с учетом передвижения рабочего тела между элементами системы, последова-

На основе анализа возможности конструктивной реализации автоматического устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка были определены основные функциональные модули технической системы для последующего ее проектирования (рис. 1).



Описание всех элементов модели ФПД для функциональных модулей, изображенных на рис. 2, представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание элементов модели ФПД

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
Функциональный модуль ФМ ₁		
v_3^1	Характерная точка	Воздух в рабочей камере компрессора
i_7^1	Маршрутная дуга	Поток воздуха из атмосферы в камеру компрессора
i_8^1	То же	Поток воздуха из камеры компрессора
$e^{\text{мех}}$	Взаимодействие	Процесс сжатия воздуха
$e^{\text{гид}}$	То же	Процесс нагнетания воздуха
Функциональный модуль ФМ ₂		
v_6^1, v_6^3	Характерная точка	Воздух в неионизированном и ионизированном состоянии в ионизаторе
v_1^3	То же	Ионизированный воздух в зоне резания
i_1^3	Маршрутная дуга	Поток ионизированного воздуха в зону резания через радиальные каналы в теле фрезы
i_2^3	То же	Поток ионизированного воздуха в атмосферу
$e^{\text{хим}}$	Взаимодействие	Процесс ионизации воздуха
$e_1^{\text{эл}}$	То же	Электрический разряд
$e_1^{\text{тер}}$	—//—	Процесс охлаждения детали
$e_2^{\text{тер}}$	—//—	Процесс охлаждения фрезы
Функциональный модуль ФМ ₃		
v_4^1	Характерная точка	Воздух в сопле эжектора
v_5^1, v_5^2	То же	Распыленная в воздухе жидкость в смесительной камере эжектора
i_9^1	Маршрутная дуга	Поток воздуха в смесительную камеру эжектора
i_{10}^2	То же	Поток жидкости в смесительную камеру эжектора
$i_3^{1,2}$	—//—	Поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность фрезы и детали
$e^{\text{кин}}$	Взаимодействие	Процесс передачи кинетической энергии воздуха подсасываемой жидкости
$e^{\text{смес}}$	То же	Перемешивания воздуха и жидкости (образование распыленной жидкости)
Функциональный модуль ФМ ₄		
$v_2^{1,2}$	Характерная точка	Распыленная в воздухе жидкость на поверхности детали
$v_7^{1,2}$	То же	Распыленная в воздухе жидкость на поверхности фрезы
v_8	—//—	Деталь
v_9	—//—	Фреза
$i_4^{1,2}$	Маршрутная дуга	Поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность детали
$i_5^{1,2}, i_6^{1,2}$	То же	Поток распыленной в воздухе жидкости в атмосферу
$e_3^{\text{тер}}$	Взаимодействие	Процесс охлаждения детали
$e_4^{\text{тер}}$	То же	Процесс охлаждения фрезы
$e_5^{\text{тер}}$	—//—	Процесс термического взаимодействия между деталью и датчиком температуры
Функциональный модуль ФМ ₅		
Д	—	Датчик температуры
Р	—	Регулятор
РО	—	Регулирующий орган
$e^{\text{пер}}$	Взаимодействие	Изменение положения регулирующего органа в зависимости от сигнала с регулятора
$e_2^{\text{эл}}$	То же	Электрическое взаимодействие между датчиком температуры и регулятором

Следующим этапом проектирования устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка выступает выявление элементарных функций системы. Подробное теоретическое обоснование и описание элементарных кон-

структивных функций дано в работе [3]. Путем анализа элементов графа модели ФПД определяют состав элементарных функций, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Описание элементарных конструктивных функций

Элемент	Функция	Семантическое описание функции
v_3	$f_3(e^{\text{мех}})$	Обеспечение возможности сжатия воздуха
v_3	$f_3(e^{\text{гид}})$	Обеспечение возможности перемещения сжатого воздуха
v_6	$f_3(e_1^{\text{эл}})$	Обеспечение возможности формирования коронного разряда
v_6	$f_3(e^{\text{хим}})$	Обеспечение возможности ионизации воздуха
v_1, v_8	$f_3(e_1^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от детали
v_1, v_9	$f_3(e_2^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от фрезы
v_4, v_5	$f_3(e^{\text{кин}})$	Обеспечение возможности передачи кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкости
v_5	$f_3(e^{\text{смес}})$	Обеспечение возможности перемешивания воздуха с жидкостью (образования распыленной жидкости)
v_2, v_8	$f_3(e_3^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от детали
v_2, v_9	$f_3(e_4^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от фрезы
$v_8, Д$	$f_3(e_5^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности измерения значения температуры детали датчиком
$Д, Р$	$f_3(e_2^{\text{эл}})$	Обеспечение возможности формирования электрического сигнала
$Р, РО$	$f_3(e^{\text{пер}})$	Обеспечение возможности перемещения задвижки для подачи распыленной жидкости
i_1^3	$f_5(i_1^3)$	Возможность подвода ионизированного воздуха в зону резания направленным потоком
i_2^3	$f_5(i_2^3)$	Возможность отвода ионизированного воздуха в атмосферу
$i_3^{1,2}$	$f_5(i_3^{1,2})$	Возможность подвода распыленной жидкости на поверхность фрезы
$i_4^{1,2}$	$f_5(i_4^{1,2})$	Возможность подвода распыленной жидкости на поверхность детали
$i_{5,6}^{1,2}$	$f_5(i_{5,6}^{1,2})$	Возможность отвода распыленной жидкости в атмосферу
i_7^1	$f_5(i_7^1)$	Возможность подвода воздуха в рабочую камеру компрессора
i_8^1	$1f_5(i_8^1)$	Возможность подвода воздуха в сопло эжектора
i_8^1	$2f_5(i_8^1)$	Возможность подвода воздуха в ионизатор
i_9^1	$f_5(i_9^1)$	Возможность подвода воздуха в смесительную камеру эжектора
i_{10}^2	$f_5(i_{10}^2)$	Возможность подвода жидкости в смесительную камеру эжектора
v_3	$f_4(e_{01}^{\text{гид}})$	Защита рабочей камеры компрессора от утечки воздуха
v_6	$f_4(e_{01}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от возникновения искрового разряда
v_6	$f_4(e_{02}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от возникновения дугового разряда
v_6	$f_4(e_{03}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от станочного приспособления
v_6	$f_4(e_{02}^{\text{гид}})$	Защита ионизатора от утечки ионизированного воздуха
v_4	$f_4(e_{03}^{\text{гид}})$	Защита сопла эжектора от утечки воздуха
v_5	$f_4(e_{04}^{\text{гид}})$	Защита смесительной камеры эжектора от утечки распыленной жидкости
i_1^3	$f_6(e_{05}^{\text{гид}})$	Защита проводящего канала от утечки ионизированного воздуха
$i_{3,4}^{1,2}$	$f_6(e_{06}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки распыленной жидкости
i_8^1	$f_6(e_{07}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки воздуха
i_9^1	$f_6(e_{08}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки воздуха

После выявления всех элементарных функций, согласно разработанной модели ФПД, определяется состав конструктивных элементов устройства на основе предварительного группирования найденных функций.

Далее подбираются источники информации, в которых описаны конструкции подобранных элементов. В качестве источников информации могут выступать научно-техническая литература, патентный фонд, специализированные базы данных и другие источники информации.

Рассмотренные этапы конструирования технического решения для охлаждения зоны резания фрезерного станка позволяет связать разработанную ранее модель ФПД устройства с его последующей конструктивной реализацией на основе выделения элементарных конструктивных функций [4]. Такой подход позволяет существенно расширить область поиска вариантов конструктивного исполнения проектируемого изделия и учесть факторы несов-

местимости конструктивных элементов друг с другом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователь энергии : монография / А. А. Яковлев ; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.
2. Яковлев, А. А. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Построение модели физического принципа действия устройства / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 83–87.
3. Поступаева, С. Г. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Выявление элементарных функций устройства / С. Г. Поступаева, Н. В. Федорова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3(262) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 69–73.
4. Разработка устройства подачи смазочно-охлаждающего технологического средства методом поискового конструирования / А. А. Яковлев, В. С. Сорокин, С. Н. Бориско, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7(217) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018.

УДК 621.91

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-44-47

В. А. Солодков, С. И. Кормилицин

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ ПРИ ВРЕЗАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: v-a-solodkov@yandex.ru, fpo@vstu.ru

Основной особенностью работы инструмента при прерывистом резании является многократно повторяющиеся врезание инструмента в обрабатываемую заготовку и выход из нее. При этом каждый раз после врезания в течение короткого времени происходит формирование зоны контактного взаимодействия с непрерывно меняющимися характеристиками.

Ключевые слова: контактная зона, врезание, адгезионное взаимодействие, микротвердость

V. A. Solodkov, S. I. Kormilitsin

DYNAMICS OF THE FORMATION OF THE CONTACT ZONE DURING EMBEDDING

Volgograd State Technical University

By main feature of wear of hard-alloy slices with cover for want of discontinuous cutting as show present and earlier executed researches is the ablation of cover from a back surface and radius of a rounding off of a cutting edge in initial period of cutting.

Keywords: contact zone, embedding, adhesive interaction, microhardness

При врезании режущего инструмента в обрабатываемый материал происходит целый ряд явлений, влияющих на взаимодействие обрабатываемого и инструментального материалов и, как следствие, на работоспособность инструмента.

Прежде всего в начальный момент происходит ударное нагружение режущих поверхно-

стей инструмента с возникновением как растягивающих, так и сжимающих напряжений и способных вызвать как макро так и микросколы режущей кромки.

Далее, в условиях высокого нормального давления на передней поверхности и кратковременного периода внешнего трения (при этом скорость стружки сравнима со скоростью

резания, а это несколько метров в секунду) вновь образующейся стружки с прирезочной поверхностью практически мгновенно ($\sim 0,001..0,01$ с) возрастает температура на контактирующих поверхностях обрабатываемого и инструментального материалов. По некоторым данным, температура в таких условиях практически мгновенно может достигать тысячи градусов, что вполне достаточно для возникновения адгезионного взаимодействия нижнего слоя стружки (он как бы «приваривается» к передней поверхности) с поверхностью инструмента. В результате происходит торможение нижнего слоя и скорость его перемещения падает до нуля. Продолжающееся движение стружки запускает сдвиговую пластическую деформацию в наиболее прогретых, а следовательно, наименее прочных слоях стружки (как правило, это слой ближайший к заторможенному нижнему слою). В этот момент источником тепловыделений становятся объемы в которых началась пластическая деформация и интенсивность этих тепловыделений (количество килокалорий в единицу времени из единицы объема) при этом максимальна. Причину высокой интенсивности тепловыделений именно в начальный момент врезания можно определить анализируя формулу 1 [4]:

$$q = \tau \cdot \dot{\epsilon}_k \cdot \Delta_k = \tau \cdot V_p / (\zeta \cdot \Delta_k) = \tau \cdot V_c, \quad (1)$$

где τ – контактные касательные напряжения; $\dot{\epsilon}_k$ – скорость деформаций в контактной зоне; Δ_k – высота контактной зоны; V_p – скорость резания; ζ – усадка стружки; V_c – скорость стружки, м/мин.

Как показывают результаты эксперимента именно в начальный период врезания усадка стружки минимальна, а ее скорость имеет максимальную величину. С учетом того, что высота контактной зоны в этот момент – момент ее зарождения имеет наименьшую величину, скорость деформаций будет максимальна. Поэтому в этот начальный период врезания интенсивность тепловыделений будет иметь наибольшую величину.

Для определения интенсивности тепловыделений можно использовать микрошлифы корней стружек с помощью которых можно измерить высоту контактной зоны и сопротивление пластическому деформированию (контактные касательные напряжения).

Последнюю величину принято определять по значению микротвердости [1]. Для опреде-

ления этой характеристики используется следующая формула

$$\tau = M \cdot HV, \quad (2)$$

где τ – контактные касательные напряжения, МПа; HV – микротвердость, МПа; M – переводной коэффициент ($M = 0,185$).

Микротвердость определяется измерением диагонали отпечатков, полученных на микротвердомере. При определении микротвердости в зоне контактного пластического деформирования ее измеряли на минимально допустимом расстоянии от границы обрабатываемого материала до твердого сплава. Согласно опытным данным, таким расстоянием является полторы диагонали отпечатка. Иногда высказываются сомнения о пропорциональности сопротивления пластическому деформированию и микротвердости, измеренной на корне стружки. Причина – температурное воздействие на упрочненное состояние металла после получения корня стружки.

Однако следует отметить, что в процессе пластического деформирования температура играет роль фактора, управляющего упрочненным состоянием металла – плотностью дислокаций и, следовательно, сопротивлением пластическому деформированию. В процессе резания металла управляющее воздействие температуры проявляется в условиях пластического деформирования, характеризующегося высокими скоростями деформаций $\dot{\epsilon}$ и высокими степенями деформаций ϵ . Так, в зоне стружкообразования скорость деформации $\dot{\epsilon} = 10^2...10^4$ с⁻¹, а степень деформации $\epsilon = 1,5...3$. В зоне контактного пластического деформирования скорость деформации $\dot{\epsilon} = 10^5...10^6$ с⁻¹ [4].

В момент получения корня стружки процесс пластического деформирования мгновенно прекращается и упрочненное состояние фиксируется таким, каким оно было в процессе резания. При этом в период остывания корня стружки температура не может оказать влияние на уровень упрочнения, полученного в этих высокоэнергетических условиях процесса высокоскоростного пластического деформирования.

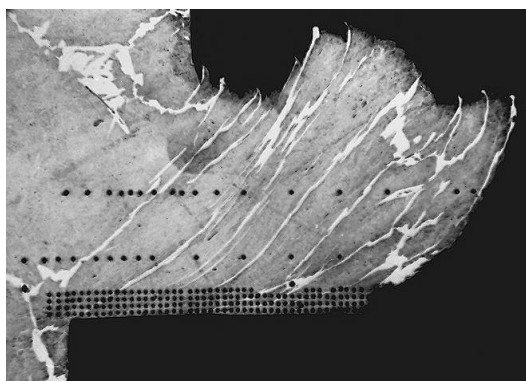
Для иллюстрации приведем микрошлифы двух корней стружки, полученный при врезании (рис. 1).

Первый корень стружки получен в начальный момент врезания ($L = 1,4$ мм), когда зона контактных пластических деформаций еще не успела сформироваться и отпечатки имеют

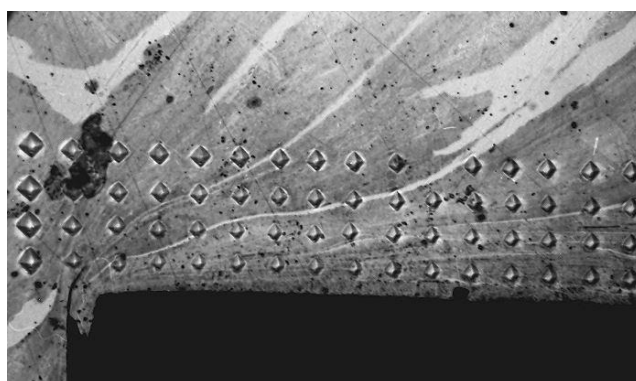
примерно одинаковые размеры, характеризующие упрочнение, полученное в результате пластической деформации в зоне стружкообразования.

Второй корень стружки получен после значительной длины резания ($L = 57$ мм), когда зона контактных пластических деформаций сформировалась, о чем свидетельствует изме-

нение размеров отпечатков по длине контакта. Вначале размеры отпечатков уменьшаются, что показывает рост упрочненного состояния (участок деформационного упрочнения), а затем размеры отпечатков увеличиваются, что говорит о протекании в этой зоне процессов температурного разупрочнения (участок температурного разупрочнения)



а



б

Рис. 1. Вид контактной зоны при врезании.
Твердый сплав ВК8 – сталь 45, $V = 60$ м/мин, $S_z = 0,337$ мм/зуб:
а – длина пути резания после врезания $L = 1,4$ мм; увеличение $\times 100$;
б – длина пути резания после врезания $L = 57$ мм; увеличение $\times 500$

Измерение микротвердости в контактной зоне при различной длине врезания показало, что при врезании с большой скоростью происходит образование и трансформация контактной зоны до вида, типичного для установившегося резания (рис. 2, [3]).

Из графика видно, что адгезионное взаимодействие вновь образующейся стружки с передней поверхностью инструмента возникает практически в момент врезания и начинается на некотором удалении от режущей кромки. Об этом свидетельствует пик микротвердости вызванный упрочнением обрабатываемого материала вследствие начавшейся в этот момент и в этом месте пластической деформации ($L = 0,8$ мм). При этом резкое падение микротвердости после максимума не есть результат какого-то мгновенного температурного разупрочнения. Это падение означает только то, что эти объемы материала не претерпели контактного пластического деформирования и, следовательно, не упрочнились.

При последующем резании ($L = 1,4$ мм) характер изменения микротвердости имеет несколько иной вид. Как рост, так и последующее падение уровня микротвердости, происходят более плавно. Это свидетельствует о достижении температурного уровня достаточного для начала процессов разупрочнения.

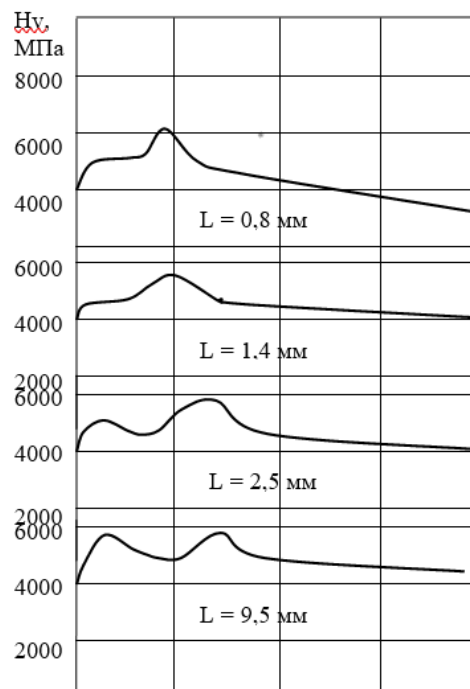


Рис. 2. Зависимость микротвердости от длины врезания

При длине резания 2,5 мм контактная зона и характер изменения микротвердости имеют качественно иной вид. Контактное пластическое течение на второй части контакта имеет более развитый вид, а на кривой микротвердо-

сти появляется второй максимум. Этот максимум находится на первой части контакта вблизи режущей кромки и связан, очевидно, с зарождением здесь под действием максимальных нормальных давлений и растущих температур еще одного участка контактного пластического течения. Необходимо отметить, что этот пик прослеживается только в слое материала, расположенном на расстоянии 15 мкм от передней поверхности инструмента. Выше, на расстоянии 30 мкм он отсутствует.

На следующей стадии формирования контактного взаимодействия ($L = 9,5$ мм), можно отметить следующее. Фактически здесь имеет место явление как бы вторичного упрочнения, связанное, очевидно, с интенсивным перераспределением тепла между стружкой и инструментом приврезания. Как известно, при врезании тепловые потоки из контактной зоны направлены в основном в инструмент, скорость роста температуры в котором даже глубине 0,07 мм от поверхности достигает $20000^{\circ}\text{C}/\text{с}$ [2]. После упрочнения и разупрочнения на первом участке выделившееся в контактных объемах тепло интенсивно поглощается холодным инструментом.

В результате этого температура контактных слоев резко падает, что повышает предел текучести материала и сопротивление пластическому деформированию. Затем вновь как бы повторяются процессы упрочнения и разупрочнения.

Формирование единой контактной зоны в принятых условиях обработки завершается уже при длине пути резания около 15 мм [3]. При этом ее вид и форма практически ничем не отличаются от того, что имеет место при установившемся резании. Отличия только в размерах, и прежде всего в высоте. Это подтверждается также и характером изменения микротвердости – различия только в количественных характеристиках).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие науки о резании металлов / В. С. Бобров, Г. И. Грановский, Н. Н. Зорев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Температурное поле в режущем клине инструмента при прерывистой работе / В. А. Синопальников, В. Д. Гурин // Вестник машиностроения. – 1980. – № 4. – С. 44–47.
3. Солодков, В. А. Физические основы контактных процессов при прерывистом резании : монография / В. А. Солодков ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 156 с.
4. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.

УДК 621.91

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-47-50

В. А. Солодков, С. И. Кормилицин

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ КОБАЛЬТОВОЙ СВЯЗКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА НА ЕГО ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: v-a-solodkov@yandex.ru, fpo@vstu.ru

Работа инструмента из твердого сплава происходит в сложных условиях при высокой температуре и давлении. При прерывистом резании к этим факторам добавляется ударный характер нагружения инструмента при врезании. Поэтому к составу твердых сплавов предъявляются высокие требования. Для повышения характеристик твердого сплава важное значение имеет легирование кобальтовой фазы вольфрамом.

Ключевые слова: кобальтовая фаза, содержание углерода, легирование, стойкостные испытания, прерывистое резание

V. A. Solodkov, S. I. Kormilitsin

THE EFFECT OF ALLOYING A COBALT BINDER OF A HARD ALLOY ON ITS WEAR RESISTANCE AND IMPACT STRENGTH

Volgograd State Technical University

The operation of the hard alloy tool takes place in difficult conditions at high temperature and pressure. With intermittent cutting, the impact nature of the tool loading during embedding is added to these factors. Therefore, high requirements are imposed on the composition of hard alloys. Alloying the cobalt phase with tungsten is important to improve the characteristics of the hard alloy.

Keywords: cobalt phase, carbon content, alloying, resistance testing, intermittent cutting

На работоспособность твердосплавного инструмента существенное влияние оказывает содержание растворенного в кобальтовой связке вольфрама [1]. Известно, что твердость и прочность кобальтовых растворов зависит от содержания в них вольфрама и углерода. Есть данные, показывающие, что при изменении содержания вольфрама W и углерода C в кобальте (т.е. при атомном соотношении $W/C = 1/1$) от 1 до 38 % по массе, твердость кобальтового раствора увеличивается от 230 до 550 HV [3]. На этом основании делается вывод, что пластичность кобальтовых растворов снижается. Основной вклад в увеличение твердости кобальтовой связки (фазы) в твердых сплавах вносит вольфрам, растворимость которого зависит от содержания в кобальте углерода. Такая зависимость справедлива и для однокарбидных и для двухкарбидных сплавов, поскольку в кобальте по сравнению с вольфрамом, растворяется незначительное количество титана и тантала. Таким образом, состав кобальтовой связки и ее пластические свойства зависят, в основном, от содержания в сплаве углерода. Например, предельная пластическая деформация при сжатии сплава группы ВК с 8 % кобальта (по массе) составляет 1,2 % для высокоуглеродистых и 0,75 % для низкоуглеродистых сплавов [3]. При этом также известно, что содержание вольфрама в кобальтовой связке находится в обратной зависимости от доли углерода в сплаве, и увеличение количества вольфрама в кобальтовой связке приводит к быстрому снижению ударной прочности и трещиностойкости твердого сплава.

Существует способ оценки содержания углерода в твердом сплаве (и следовательно, растворимость вольфрама в кобальтовой связке) [2]. В соответствии с этим способом содержание углерода в твердом сплаве может быть оценено по величине ЭДС резания, измеренной методом естественной термопары. При этом большему содержанию углерода в сплаве соответствует большее значение ЭДС резания. Таким образом, чем больше в кобальтовой связке растворенного вольфрама, тем меньше значение ЭДС для этого сплава.

Существует также и другой способ оценки содержания вольфрама и углерода в кобальтовой связке [4]. Этот способ основан на измерении величины магнитного насыщения твердого сплава, которое также зависит от степени леги-

рованности кобальтовой связки вольфрамом. Причем эта зависимость носит такой же линейный характер, как и зависимость количества растворенного вольфрама от содержания углерода. Соответственно, чем больше магнитное насыщение, тем выше будет трещиностойкость сплава.

Достоинством второго способа оценки содержания вольфрама и углерода в кобальтовой связке путем определения магнитного насыщения является высокое быстродействие, большой объем исследуемого материала и неразрушающий характер анализа. Недостаток – необходимость наличия специализированного высокоточного оборудования.

В настоящих исследованиях выявлялась зависимость между работоспособностью (износ и разрушение режущей кромки) и содержанием вольфрама (углерода) в кобальтовой связке при торцовом фрезеровании инструментальной стали твердым сплавом ТТ20К9. Обработка выполнялась по схеме симметричного фрезерования однозубой торцевой фрезой $\varnothing 160$ мм заготовки шириной 92 мм из стали ХВГ твердостью $HV = 242$ при следующих условиях: $V = 190$ м/мин; $S = 0,2$ мм/об; режущая пластина 03111-12-04-08 ГОСТ 19049–80 со следующей геометрией $\varphi = 85^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = -8^\circ$.

В экспериментах использовались твердосплавные пластины, отличающиеся разным содержанием углерода в засыпке. Как уже отмечалось, основное влияние на пластические свойства кобальтовой связки оказывает вольфрам, растворимость которого зависит от содержания в кобальте углерода, которое можно оценить по величине ЭДС резания. Для проверки этой зависимости при торцовом фрезеровании были спечены четыре группы пластин, содержание углерода в которых возрастало на 0,05 % для каждой последующей группы. Перед проведением стойкостных испытаний в одинаковых условиях выполнялось тарирование пластин по ЭДС резания. Для разных групп она изменялась в следующих пределах: 1-я группа (10,4...10,8 мВ), 2-я группа (7,2...11,3 мВ), 3-я группа (7,0...7,9 мВ), 4-я группа (6,9...7,3 мВ). Для проведения стойкостных испытаний было отобрано несколько режущих пластин с крайними значениями. ЭДС – 7,0 мВ и 10,6 мВ.

На рисунке 1 показаны передние и задние поверхности двух таких пластин с резко отличающимся содержанием углерода.

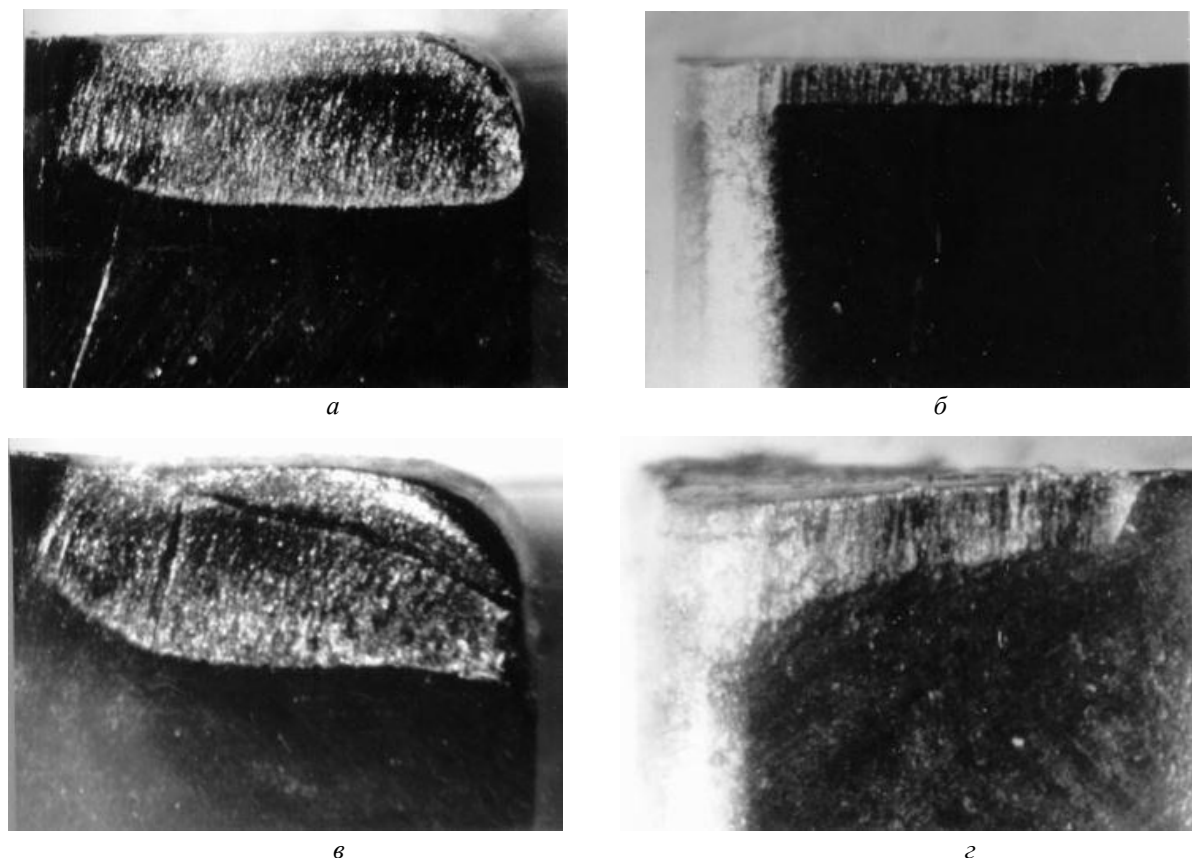


Рис. 1. Вид контактных поверхностей твердосплавных пластин с различным содержанием углерода (х 40):
а, б – передняя и задняя поверхности пластины с минимумом углерода;
в, г – передняя и задняя поверхности пластины с максимумом углерода

Износ по задней поверхности у пластины с меньшим содержанием углерода (рис. 1, б) примерно в два раза меньше, чем у пластины с большим содержанием углерода (рис. 1, г). При этом хорошо видно значительное опускание режущей кромки (до 0,12 мм на вершине) у пластины с большим содержанием углерода (рис. 1, г). На передней поверхности этой пластины в результате пластической деформации режущего клина образовалась трещина, которая должна привести к сколу режущей кромки (рис. 1, в).

Сравнительные стойкостные испытания, проведенные при тех же условиях при непрерывном резании подтверждают влияние на износ степени легирования кобальтовой связки вольфрамом (рис. 2).

Однако, следует отметить, что при прерывистом резании при экстремально низком содержании углерода ($E \sim 5,8$ мВ), и следовательно, максимальной степени легирования кобальтовой связки вольфрамом, при общем снижении регулярного износа не он определяет период стойкости режущей пластины. В этом

случае период стойкости в ряде случаев ограничивают сколы режущей кромки.

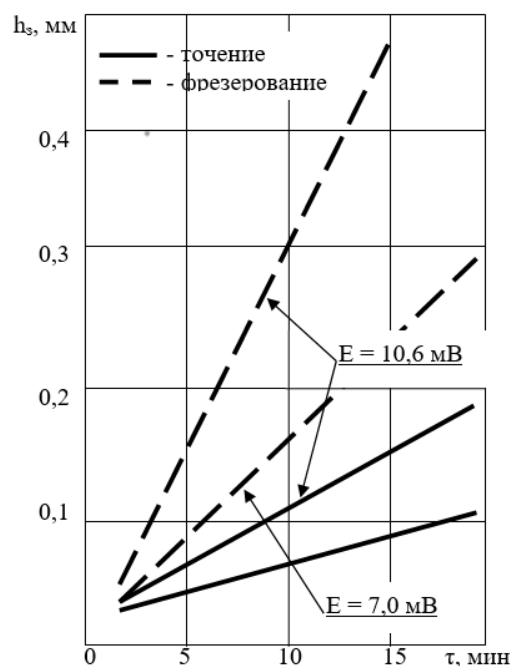


Рис. 2. Износ при точении и фрезеровании в зависимости от содержания углерода

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Увеличение степени легирования кобальтовой связки вольфрамом вне всякого сомнения повышает износостойкость твердых сплавов. Однако при чрезмерной величине легирования наблюдается снижение работоспособности твердого сплава из-за недостатка хрупкой прочности микросколы режущей кромки. С другой стороны, при недостаточном легировании вольфрамом высокая пластичность кобальтовой связки может приводить к похожему результату – из-за высокой степени пластической деформации режущего клина образуются трещины, которые приводят к сколу режущей кромки.

Следовательно, оптимальная степень легирования (минимальный износ при достаточной ударной прочности) зависит от конкретных ус-

ловий обработки и может быть определена в результате экспериментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быков, Ю. М. Исследование закономерностей износа твердосплавного инструмента с износостойкими покрытиями с целью повышения его работоспособности : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Быков Ю. М. – Тбилиси, 1984. – 20 с.
2. Плотников, А. Л. Исследование физической природы связи ЭДС естественной термопары с режущими свойствами твердосплавных инструментов и использование величины термо-ЭДС для управления процессом резания : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Плотников А. Л. – Тбилиси, 1982. – 22 с.
3. Третьяков, В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В. И. Третьяков. – М. : Металлургия, 1976. – 528 с.
4. Цыбрий, И. К. Магнитные свойства и методы исследования структуры спеченных твердых сплавов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Цыбрий И. К. – Ростов-на-Дону, 1984. – 20 с.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-50-52

В. В. Стражев, Е. М. Фролов, А. В. Рогачев

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ ТОЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: strajev.v@yandex.ru, e_frolov@vstu.ru, alexsandrogachev@ya.ru

Токарная обработка – это сложный процесс, включающий в себя такие компоненты как режимы резания, обрабатываемый и режущий материал и т. д. Особенно важным для производителей компонентом является время обработки, поскольку оно напрямую связано с производительностью и стоимостью процесса металлообработки. В данной работе предлагается уточнение модели для оптимизации режимов точения по параметру производительности.

Ключевые слова: токарная обработка, режимы резания, оптимизация, термоЭДС, качество поверхности

V. V. Strazhev, E. M. Frolov, A. V. Rogachev

ADAPTATION OF THE METHOD OF AUTOMATIC ASSIGNMENT OF TURNING MODES FOR MULTI-STAGE PROCESSING

Volgograd State Technical University

Turning is a complex process that includes components such as cutting modes, processed and cutting material, etc. Processing time is a particularly important component for manufacturers, as it is directly related to the productivity and cost of the metalworking process. In this paper, a refinement of the model is proposed to optimize turning modes according to the performance parameter.

Keywords: turning, cutting modes, optimization, thermal EMF, surface quality

Актуальность исследования

Эффективность машиностроительных предприятий в ближайшем будущем все сильнее будет зависеть от обеспечения стабильности производства изделий, так как все больше в объеме выпускаемой продукции становится доля прецизионных детали с поверхностями

высокого качества. Однако важно не только обеспечить высокое качество поверхности, но и гарантировать ее получение с минимальным количеством брака.

При расчете параметров лезвийной обработки металла на основе профильной справочной литературы, в которой присутствуют ус-

редненные значения силовых, скоростных и поправочных коэффициентов, возникает неточность. Разница между расчетными и фактическими значениями режимов резания может достигать полутора или двух раз [1,2]. Для решения этой проблемы исследуется способ определения оптимальных режимов резания, который основан на оперативном получении информации о физико-механических свойствах контактной пары «обрабатываемая заготовка – режущий инструмент» в ходе предварительного пробного прохода, посредством измерения величины сигнала термоЭДС [3–5]. Автоматизированное определение оптимальных режимов точения и введение их в УЧПУ станка позволит сократить время технологической подготовки и избежать ошибок из-за человеческого фактора [6–9].

Выбор целевой функции

Для достижения стабильности производственного процесса при токарной обработке решается задача поиска таких режимов резания, при которых целевая функция, выбранная с учетом стадии обработки, достигает экстремума при соблюдении всех технологических ограничений, предъявляемых к процессу обработки. Для поиска оптимальных режимов резания при чистовой или тонкой токарной обработке в качестве целевой функции целесообразно выбирать шероховатость обработанной поверхности вместо наиболее часто применяемой производительности.

Максимальную величину подачи ограничивает требуемая шероховатость обработанной поверхности. Следовательно, должно выполняться условие

$$S \leq S_v, \quad (1)$$

где S_v – максимально допустимая подача, обеспечивающая получение данного класса шероховатости обработанной поверхности.

При чистовой / получистовой и черновой обработке главный и вспомогательный углы в плане приобретают значительное влияние, и величина S_v определяется формулой:

$$S_v = \frac{C_H \cdot H_{\max}^y \cdot r^u}{t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}, \quad (2)$$

где C_H – коэффициент, характеризующий условия обработки; $H_{\max}$ – максимальная высота микронеровностей поверхности, мкм; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный главный угол в плане; y, u, x, z – показатели степени.

Выразим максимальную высоту микронеровностей $H_{\max}$ из формулы (2) и получим:

$$H_{\max} = \frac{S_m \cdot t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}{n \cdot C_H \cdot r^u} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где S – подача, мм/об; n – частота вращения заготовки, об/мин; C_H – коэффициент, характеризующий условия обработки; $H_{\max}$ – максимальная высота микронеровностей поверхности, мкм; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный главный угол в плане; t – глубина резания, мм; y, u, x, z – показатели степени.

Отказ от повышения производительности токарной обработки может привести к ряду негативных последствий, которые осложняют поддержание конкурентоспособности и эффективное использование ресурсов. Для успешной работы на современном рынке необходимо постоянно стремиться к улучшению эффективности и производительности обработки. В связи с этим в систему технологических ограничений должно вводиться ограничение по наибольшему объему срезаемого слоя, допускаемого требованиями, предъявляемыми к производительности обработки.

Построение системы ограничений

Оптимизируемые режимы токарной обработки зависят от выбора технологических ограничений, определяющих описываемый процесс. В основе оптимизации режимов обработки важным этапом является построение математической модели, включающей в себя совокупность технологических ограничений и оценочную функцию (критерий оптимальности), которые приводятся к линейному виду путем логарифмирования.

Как было упомянуто выше, исходя из экономических соображений, производительность обработки должна остаться в математической модели оптимизации режимов точения как минимум в виде одного из технологических ограничений. Введем в систему технологических ограничений наибольший объем срезаемого слоя, допускаемый требованиями, предъявляемыми к производительности обработки.

Удельный съем материала – произведение скорости резания, глубины резания и подачи, соответственно находится по формуле:

$$Q = v \cdot S_m \cdot t, \left[\frac{\text{см}^3}{\text{мин}} \right] \quad (4)$$

где v – скорость резания, м/мин; S_m – подача, м/мин; t – глубина резания, мм.

Подставим в формулу (4) скорость резания и получим:

$$Q = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \cdot S_m \cdot t, \quad (5)$$

где n – частота вращения заготовки, об/мин; D – диаметр обрабатываемой детали, мм.

Выведа в левую часть формулы (5) частоту вращения заготовки и скорость подачи, получим выражение ограничения в виде неравенства:

$$n \cdot S_m \leq \frac{Q \cdot 1000}{\pi \cdot D \cdot t}. \quad (6)$$

Далее необходимо найти способ определения объема срезаемого слоя Q в правой части неравенства. Это можно сделать следующим образом:

Зная внешний диаметр D и обработанный диаметр d , можно найти площадь профиля $S_{\text{профиль}}$ срезанного материала по формуле:

$$S_{\text{профиль}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}. \quad (7)$$

Следовательно, объем срезаемого слоя Q будет равен произведению площади профиля $S_{\text{профиль}}$ и длины реза L , и определен по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot L. \quad (8)$$

Подставим Q в формулу (6) и проведя преобразования, получим:

$$n \cdot S_m \leq \frac{250 \cdot L \cdot (D + d) \cdot (D - d)}{D \cdot t}. \quad (9)$$

Перечислим оставшиеся и наиболее часто применяемые ограничения:

- наименьшая подача, допустимая кинематикой станка;
- наибольшая подача, допустимая кинематикой станка;
- наименьшая скорость резания, допустимая кинематикой станка;
- наибольшая скорость резания, допустимая кинематикой станка;
- режущие возможности инструмента;
- наибольшая технологически допустимая скорость резания;
- мощность электропривода главного движения станка;
- прочность режущего инструмента;
- жесткость режущего инструмента;
- точность обработки.

Особенностью указанных ограничений является использование величины сигнала термоЭДС как интегрального критерия физико-механических свойств контактной пары «обрабатываемая заготовка – режущий инструмент» [1, 2, 6].

Выводы

В представленной работе подчеркивается необходимость обеспечения баланса между производительностью и качеством токарной обработки. Совершенствование модели для оптимизации режимов резания на основе информации из зоны резания, получаемой в режиме реального времени, позволит производителям повысить эффективность своих технологических процессов и сохранить конкурентоспособность на рынке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пробный проход при лезвийной обработке металла с измерением термоЭДС как способ предварительной оценки свойств контактной пары: резец-стальная заготовка / Плотников А. Л., Зайцева Н. Г., Аветисян В. А., Ньят Х. Д. // Вестник СГТУ. – Саратов, 2012. – Т. 3. – № 1 (67). – С. 109–113. – ISSN: 1999-8341.
2. Управление параметрами процесса лезвийной обработки на станках с ЧПУ: монография / А. Л. Плотников: науч. ред. А. П. Бабичев: ВолгГТУ Тольятти; ЗАО «ОНИКС», 2012. – 231 с., ил., табл. (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю. М. Соломенцев).
3. Чигиринский, Ю. Л. Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка, производство, прослеживание / Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, Е. М. Фролов // Научные технологии в машиностроении. – 2022-8(134). – С. 39–48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-8-39-48
4. Фролов, Е. М. Возможности использования серийного оборудования с ЧПУ в качестве основы для построения цифровых производственных участков / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 3 (250) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 41–43.
5. Исследование качества формируемой при точении на автоматически определяемых режимах поверхности / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев, М. Ю. Поляничкова, В. В. Стражев // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 32–34. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-32-34.
6. Способ назначения режимов резания для станков с ЧПУ на основе ЭДС резания: заявка № 2021135 Российской Федерация: В23В 25/06 (2006.01), В23Q 15/00 (2006.01) / Фролов Е. М., Рогачев А. В.; заявитель ФГБОУ ВО «ВолгГТУ». – № 2021135456/05; заявлен 02.12.2021. – 30 с.
7. П. м. 201939 Российская Федерация, МПК В23В25/06 Резец сборный с элементами для измерения ЭДС резания / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
8. П. м. 201938 Российская Федерация, МПК В23В25/06 Автономный модуль для измерения ЭДС резания / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
9. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022614344 от 18 марта 2022 г. Российская Федерация. Оптимизация режимов резания для станков с ЧПУ / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2022.

УДК 621.9.015

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-53-56

*Зебазе Жизлейн Н. А., Ю. Л. Чигиринский***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ
В РЕЗУЛЬТАТЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: ndjaze@gmail.com, Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

Моделирование микрогеометрии поверхности, формируемой в процессе механической обработки при изготовлении деталей машин, рассматривается как альтернатива оперативному контролю качества поверхности непосредственно в процессе обработки. Моделирование выполнено с использованием метода конечных элементов с учетом базовых принципов материаловедения сталей, положений механики деформируемого твердого тела и технологии машиностроения. В статье рассмотрен силовой (динамический) механизм формирования микропрофиля, определяемый действием сил резания и возникающих при стружкообразовании в результате упруго-пластической и пластической деформации материала поверхностного слоя напряжений. Рассмотрена поверхностная пластическая деформация для анализа параметров качества поверхности детали. Полученные результаты отражают взаимосвязь между высотными параметрами микропрофиля поверхности заготовки и условиями обработки. Данные, полученные при моделировании, согласуются с результатами непосредственного измерения высотных параметров микропрофиля обработанной поверхности.

Ключевые слова: качество, шероховатость, поверхностный слой, пластическая деформация, статистическое моделирование, прочность, условия обработки

*N. G. A. Zebaze, Ju. L. Tchigirinsky***MODELING THE QUALITY PARAMETERS OF SURFACE,
WHICH OBTAINED AS A RESULT OF MACHINING****Volgograd State Technical University**

Modeling of the microgeometry of the surface formed during mechanical processing in the manufacture of machine parts is considered as an alternative to operational quality control of the surface directly during the processing. Modeling is performed using the finite element method, taking into account the basic principles of steel material science, provisions of mechanics of a deformable solid and mechanical engineering technology. The article considers the force (dynamic) mechanism of microprofile formation determined by the action of cutting forces and stresses arising during chip formation as a result of elastic-plastic and plastic deformation of the material of the surface layer. Surface plastic deformation is considered for the analysis of the quality parameters of the part surface. The obtained results reflect the relationship between the height parameters of the workpiece surface microprofile and the processing conditions. The data obtained during modeling are consistent with the results of direct measurement of the height parameters of the processed surface microprofile.

Keywords: surface quality, roughness, the surface layer, plastic deformation, physical statistical models, strength, processing conditions

Качество поверхности понимается как набор свойств (шероховатость, остаточное напряжение, твердость поверхности и т. д.), которые определяют пригодность детали для ее предполагаемого использования. Для выполнения функционально-эксплуатационных требований изделие (деталь) должно обладать перечисленными выше характеристиками поверхностного слоя, причем числовые значения этих характеристик могут варьироваться в пределах определенных допусков [1].

Физико-механические свойства изделия изначально определяются свойствами конструкционного материала, но, в определенной мере, изменяются на этапах механической и термиче-

ской обработки. В результате обработки обеспечивается повышение прочности, снижение высоты микрорельефа, исправление погрешностей взаимного расположения поверхностей. Свойства изделия становятся более стабильными и, как правило, усложняется геометрия изделия. Требования, определяемые функциональным назначением детали, задаются как обязательно выполняемые ограничения на процесс обработки, в том числе, на финишные операции [2].

Технологические методы используются для изменения физических и химических свойств детали, с целью обеспечения однородности параметров качества поверхности [3]. Основной

характеристикой, определяющей долговечность детали, является геометрия и, в особенности, микрогеометрия ее рабочей поверхности, которая должна быть функциональной с точки зрения шероховатости и с точки зрения остаточных напряжений.

Поскольку все поломки деталей начинаются с их поверхностей, метод обработки для получения качества поверхности должен обеспечить его форму и требуемое качество. Например, точение идеально подходит для цилиндрических деталей, а фрезерование подходит для создания сложных форм и особенностей. Таким образом, инженерия поверхности является тенденцией в модернизации обрабатываемых деталей [4].

Шероховатость является одной из характеристик состояния поверхности детали. Основные характеристики микрогеометрии поверхностей регламентированы действующим в России GOST 2789–73. Стандартом установлены следующие характеристики шероховатости: высотные R_a , R_z , R_{max} ; шаговые S_m , S ; параметр формы t_p . Выбор моделирования микрогеометрии поверхности объясняется тем, что параметры шероховатости нормированы на 100 % машиностроительных чертежей [5]. Наиболее

часто используемым параметром шероховатости является среднее арифметическое отклонение высоты микронеровностей R_a .

Используемый метод

Для завершения этой работы использовался численный подход. Численный подход в данном случае основан на САПР-программном обеспечении, позволяющем создавать механическую часть и затем подвергать ее определенным ограничениям. Механическая обработка поверхности производилась с использованием механической силы для изменения поверхности обрабатываемой детали. Принцип основан на приложении напряжения к поверхности детали, вызывающего пластическую деформацию [3, 6].

Процесс моделирования включает в себя несколько этапов, проектирование, программирование, оснастку и контроль качества. Программное обеспечение Autodesk Inventor для автоматизированного проектирования используется для создания 3D-модели детали с учетом размеров, допусков и спецификаций материала (рис. 1). На протяжении всего процесса принимаются строгие меры контроля качества для проверки точности и целостности готовой детали.

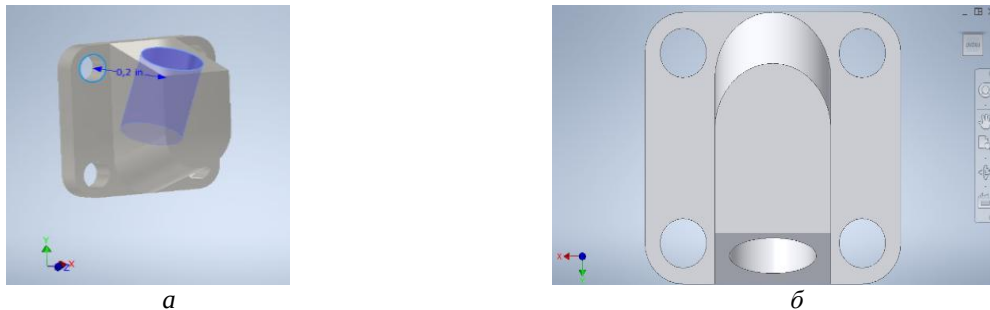


Рис. 1. 3D-моделирование детали с помощью графического интерфейса Autodesk Inventor: а – профиль внутреннего цилиндра детали; б – деталь в сборе

Моделирование использует пластическую деформацию поверхности. Деталь собирается программным обеспечением (рис. 2) таким образом, что каждая размерная или геометриче-

ская спецификация детали генерируется случайным образом в соответствии с законом статистического распределения, соответствующим предполагаемому процессу производства.

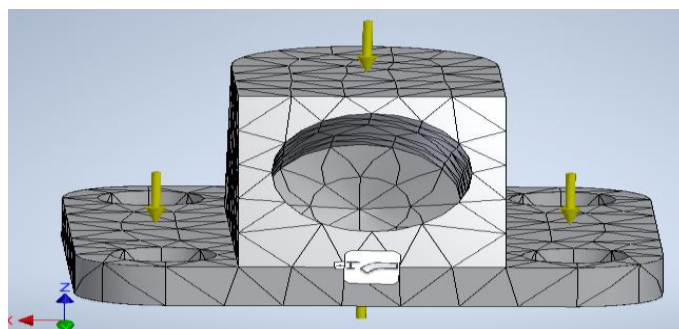


Рис. 2. Размерные и геометрические характеристики детали в Inventor

Моделирование проводится с использованием испытательной детали из алюминия 6061 и регулируемой управляющей программы, позволяющей регулировать механическое усилие $F \pm \Delta F$, необходимое для возникновения пластической деформации. Для каждого значения механической силы $F = 900 \dots 1800$ Н, Параметры поверхности детали определяются с допуском 0,01 мм (0,0004 дюйма).

Алюминий 6061 (обозначение АД33) – наиболее часто используемый алюминиевый сплав и один из самых универсальных. Известный своей прочностью, обрабатываемостью, коррозионной стойкостью и простотой сборки, алюминиевый пруток 6061 используется в самых разных отраслях промышленности и сферах применения. Из него для изготовления деталей средней прочности и высокой коррозионной

стойкости, работающих в интервале от -70 до 50 °С, во влажной атмосфере и в морской воде.

Напряжения, полученные в разных направлениях, представлены в соответствии с моделью Фон Мизеса (рис. 3). Максимальное напряжение, вызывающее пластическую деформацию под действием силы 1500 Н, составляет 114,04 МПа. Точные значения и местоположение деформаций обозначены разными цветами. Просто выберите любой произвольный участок детали, где происходит деформация, и наблюдайте за результатами.

Удлинение детали после деформации составляет 14 %. Деталь ведет себя непрерывно в диапазоне упругости, а максимальный предел текучести составляет 97,5 МПа. Наиболее типичные значения для алюминия 6061, 310 МПа и 270 МПа, соответственно, не были достигнуты.

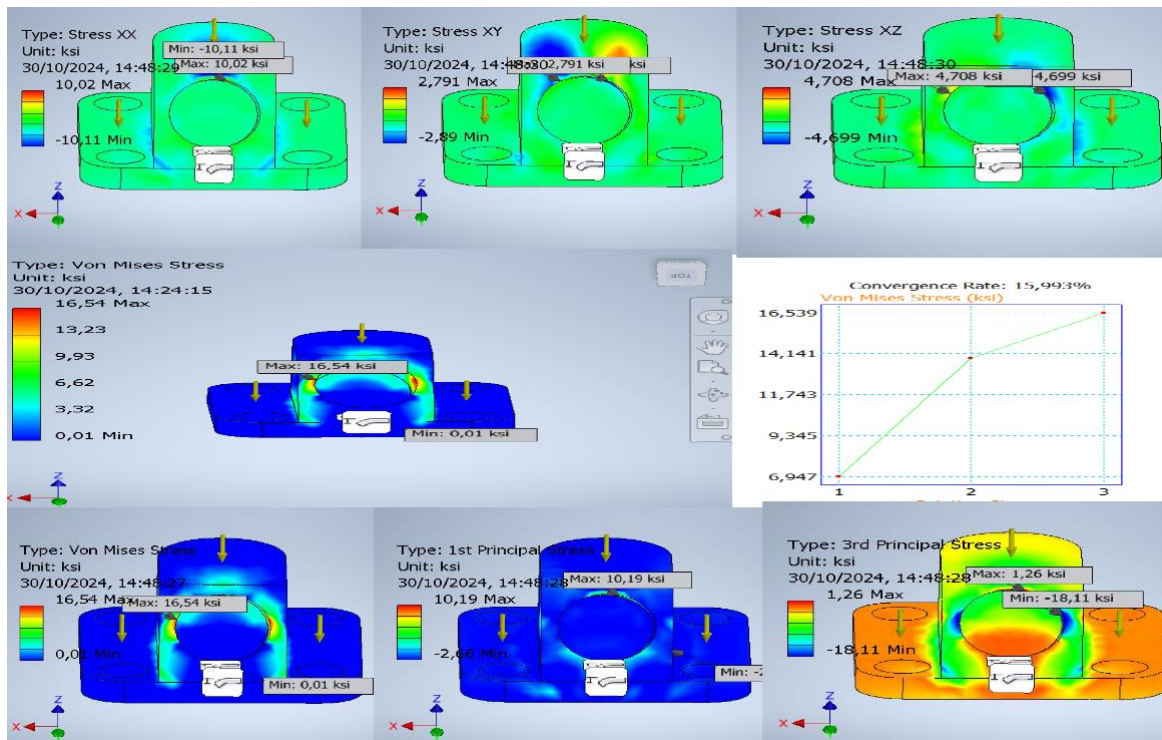


Рис. 3. Анализ напряжений в разных направлениях

Общая деформация детали считается значительным смещением. Каждая точка сетки изменяет положение, следуя нормали к плоскости детали и соблюдая нормальное случайное распределение.

Деталь подвергается изгибу, наблюдаемые смещения которого связаны с допуском и деформацией. Программное обеспечение выполняет расчеты смещений с помощью статистического метода наименьших квадратов на соответствующей плоскости и затем создает модель

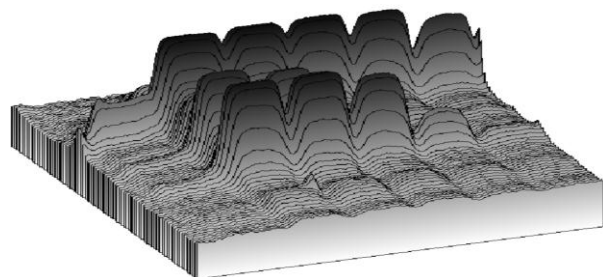


Рис. 4. 3D-анализ поверхности детали. Микропрофиль обрабатываемой поверхности (Алюминий 6061 – $t = 1$ мм; $S = 0,15$ мм/об)

дефекта формы. По мере увеличения деформации уменьшается базовое расстояние детали. Наблюдаемое отклонение составляет 0,018 мм. Микропрофиль обрабатываемой поверхности детали показан на рис. 4.

В таблице приведены параметры шероховатости детали, полученные программным обеспечением в ходе моделирования. Улучшен-

ная средняя шероховатость поверхности заготовки составляет 4,52 мкм. Эта величина согласуется с экспериментальными измерениями, уже проведенными на структуре, аналогичной исследуемой в данной работе, при текущих процессах механической обработки для определения параметра шероховатости поверхности R_a [7].

Параметры поверхности, созданные программным обеспечением

Обозначение и Ед. измерения	Наименование	Полученные значения
R_a (мкм)	Среднее арифметическое отклонение профиля	4,52
R_z (мкм)	высота неровностей профиля по десяти точкам	5,8
R_{max} (мкм)	Наибольшая высота неровностей профиля	23,8
S_m (мкм)	Средний шаг неровностей профиля	13,6
S (мкм)	Средний шаг неровностей профиля по вершинам	0,72

Результаты непосредственного контроля качества поверхности [8] приведены далее. Шероховатость обрабатываемой поверхности уменьшается на 2,016 мкм под действием силы 1500 Н, приложенной к поверхности заготовки. наблюдается нормальное напряжение на поверхности детали. процесс отделки необходим для устранения дефектов поверхности. Функция программного обеспечения «Финиш» позволяет выполнять сглаживание микронеровностей поверхности. После выполнения функции «Финишная обработка» достигается гладкая поверхность с улучшенной твердостью 67 МПа.

Заключение

Данное исследование является важным этапом в реализации метода моделирования параметров поверхности механических деталей. Полученные результаты показывают определенное соответствие между фактическими измерениями шероховатости R_a и измерениями, полученными в ходе текущих процессов механической обработки. Однако наибольшую трудность остается в том, чтобы точно определить для каждого типа ситуации наилучший и наиболее эффективный по времени метод расчета, особенно для инженерии поверхности, чтобы получить надежные результаты.

Одна из основных трудностей дальнейшего развития моделирования микропрофиля поверхности связана с рассмотрением поведения анизотропных материалов за пределами упругой области. Второй момент будет заключаться в разработке методов, предусмотренных для совершенствования и контроля при изготовлении деталей.

Последним рассматриваемым моментом является анализ возможных производственных дефектов одновременно с расчетами размеров. Это позволило бы перейти непосредственно к моделированию, учитывающему возможность производственных процессов, заменить физический контроль цифровой проверкой измерений, связанной с качеством обрабатываемой детали, с четкими стандартами, которым необходимо следовать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пронников, А. С. Надежность машин / А. С. Пронников. – М. : Машиностроение, 1978. – 590 с.
2. Терехов, В. Исследование состояния поверхностного слоя глубоких отверстий в деталях ответственных теплообменных аппаратов / В. Терехов. – М. : Технология машиностроения, 2001. – № 3. – С. 41–45.
3. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. М. Дальского, А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2001. – 856 с.
5. Сулов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Сулов. – М. : Машиностроение, 1987. – 207 с.
6. Федоров, В. П. Принципы и средства технологического обеспечения заданных законов распределения параметров качества по обрабатываемой поверхности детали / В. П. Федоров, М. Н. Нагоркин // Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки : кол. моногр. / под ред. А. В. Киричека. – М. : Спектр, 2014. – С. 172–220.
7. Полянчиков, Ю. Н. Улучшение параметров шероховатости при обработке резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко [и др.] // Вестник Саратовск. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 67–71.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.7/.9:004.925.84+004.032.26

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-57-62

К. В. Ваганов, К. А. Драпак, В. С. Фомин

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ ПЕЧАТИ FDM 3D-ПРИНТЕРОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kira404186@mail.ru, loldra@yandex.ru, vladfom2302@yandex.ru

Проведен анализ особенностей различных нейросетевых технологий программирования с целью выявления наиболее подходящей для обнаружения дефектов во время FDM 3D-печати за счет анализа изображений со встроенной камеры 3D-принтера. Предложена методика обнаружения наиболее распространенных дефектов и интегрированная система для ее реализации, включающая видеокамеру, аппаратное обеспечение для анализа изображения и основные принципы нейросетевого программирования.

Ключевые слова: нейронные сети, обнаружение, 3D-печать, дефект, аддитивные технологии

K. V. Vaganov, K. A. Drapak, V. S. Fomin

AUTOMATIC DEFECT DETECTION IN THE PRINTING PROCESS OF FDM 3D PRINTERS USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

Volgograd State Technical University

The analysis of the features of various neural network programming technologies has been carried out in order to identify the most suitable for detecting defects in time FDM 3D printing by analyzing images from the built-in 3D printer camera. A technique for detecting the most common defects and an integrated system for its implementation, including a video camera, image analysis hardware and basic principles of neural network programming, are proposed.

Keywords: neural networks, detection, 3D printing, defect, additive technologies

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, оптимизация качества производственных процессов приобретает все большее значение. Аддитивные технологии, такие как 3D-печать, становятся важной частью современного производства, предоставляя гибкость в создании сложных и индивидуализированных изделий [5]. Однако, наряду с этим, возникает необходимость в эффективном контроле качества, так как даже небольшие дефекты могут значительно повлиять на конечный результат. Инновационные решения для автоматизированного выявления дефектов, помогают повысить надежность и точность процесса аддитивного производства.

Моделирование методом послойного наплавления (FDM) является одной из самых популярных аддитивных технологий. Ее актуальность заключается в простоте использования

и экономии времени, затрачиваемого на производство различных видов изделий [7, с. 66]. Также печать трехмерных объектов обеспечивает высокоточное воспроизведение необходимых форм и деталей определенного объекта [3]. При этом ручной труд практически сведен к нулю, а это значит, что затраты на оператора и обслуживание будут минимальными. Впоследствии это позволит снизить себестоимость готового изделия [6]. Однако при всей перспективности технологий 3D-печати в этой сфере есть ряд серьезных проблем. Одной из таких является стоимость расходного материала.

Некорректная настройка оборудования способна вызвать дефекты в процессе печати, включая смещение слоев, искажения деталей и даже повреждение принтера [1]. Пользователь может неправильно задать параметры печати, такие как температура, скорость или вы-

сота слоя, что также приводит к дефектам в конечном изделии. Решением этой проблемы может стать автоматическое определение сбоя в процессе 3D-печати по технологии FDM с помощью нейронной сети, что поможет минимизировать влияние этих факторов и сэкономить материал для печати.

Одной из важных особенностей нейронных сетей является их способность к самоорганизации и адаптации к изменяющимся условиям. Благодаря этому они могут обрабатывать большие объемы информации и выявлять скрытые закономерности в данных [10]. Нейросети способны не только анализировать входящую информацию, но и воспроизводить ее из своей памяти [11]. Кроме того, нейронные сети отличаются от классических алгоритмов тем, что способны обучаться без явного программирования – они «получают знания» из предоставленных им данных.

В данном случае нейронная сеть используется для визуального отслеживания дефектов печати. Она получает информацию путем потоковой передачи видео или фотографии с камеры 3D-принтера.

Для обработки изображений лучше всего использовать сверточную нейронную сеть, поскольку такие нейросети хорошо улавливают локальный контекст, когда информация в про-

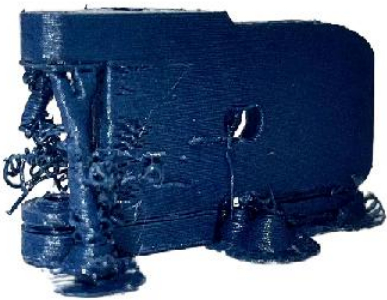
странстве непрерывна, то есть ее носители находятся рядом [4]. Например, пиксели – части изображения, которые расположены близко друг к другу и содержат визуальные данные: яркость и цвет. Если в одном пикселе нейронная сеть замечает дефект, то и в других – тоже [2].

При этом нужно учитывать, что некоторые из них могут быть обнаружены лишь после того, как печать была завершена, например, плохая адгезия с опорными конструкциями. Другие же ошибки печати, такие как большие внутренние напряжения или сниженная прочность детали, могут остаться незамеченными [8]. Последующее деление на уровни заметности строится с предположением того, что внутреннее освещение принтера будет включено и рабочая зона будет достаточно освещена, а установленная камера снимает в разрешении 1080 p.

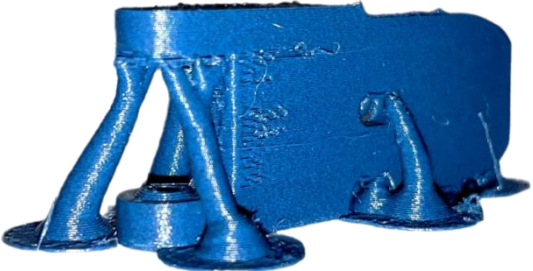
К дефектам, которые легко обнаружить, можно отнести очевидные случаи ошибок печати. Хорошо обученная нейронная сеть должна быть способна распознавать их даже при недостаточно хороших условиях съемки, таких как плохое освещение или низкое разрешение камеры. В идеальном же случае она так же должна сама принимать решение, останавливать печать, или же нет. Данные дефекты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Дефекты высокого уровня заметности

Образцы изображений	Наименование дефекта и описание
	Пропуск слоя из-за низкой температуры экструдера
	Образование нитей материала в результате неподобранного отката

Окончание табл. 1

Образцы изображений	Наименование дефекта и описание
	Пропуск слоя из-за плохого прижима подающих шестеренок друг к другу
	Сбой печати из-за пробки материала между соплом и термо-барьером, вызванной недостатком охлаждения радиатора
	Дефект на углу из-за неверного расположения и настроек шва

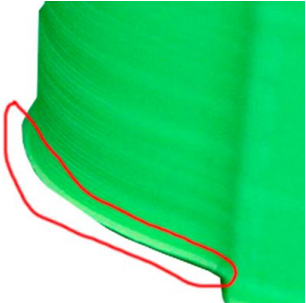
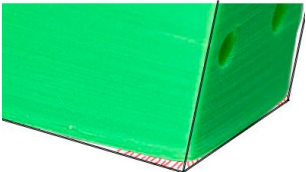
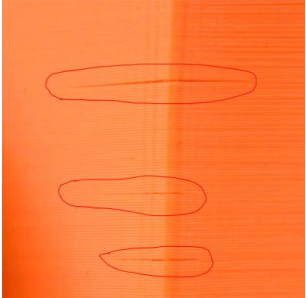
Другие же дефекты могут представлять сложность в их обнаружении, в том числе и для нейронной сети. В этом случае очень многое зависит от исходных обучающих данных нейронной сети и качества съемки. В случае недостаточно большого датасета и плохих условий съемки их обнаружение маловероятно. Данные сбои представлены в табл. 2.

На данный момент для поиска дефектов во время 3D-печати существует нейронная сеть «The Spaghetti Detective», но она в основном замечает лишь образование нитей материала, своим видом напоминающие спагетти, не позволяя найти большинство других дефектов [1]. Работает программа по следующему принципу:

облачное приложение проверяет состояние распечатки каждые десять секунд, а в случае появления данного дефекта приостанавливает процесс либо предупреждает оператора о возможной проблеме. Далее пользователь принимает решение остановить или продолжить печать. При этом отсутствует необходимость физического присутствия у принтера, контроль за состоянием процесса может осуществляться посредством камеры, что позволяет передавать необходимые команды дистанционно. В худшем случае модель будет повреждена, однако данный подход способствует снижению объема отходов и обеспечивает большую оперативную эффективность.

Таблица 2

Дефекты низкого уровня заметности

Образцы изображений	Наименование дефекта и описание
	Слоновья нога. Дефект, при котором первый слой печатаемой модели слишком сильно впечатан в нагревательную платформу или стол. Его происхождение обусловлено маленьким зазором между столом и соплом, либо совокупностью маленького зазора и переэкструзии материала.
	Загиб краев модели. Из-за слишком быстрого охлаждения некоторые виды пластика сильно усаживаются, из-за чего происходит загиб [9].
	Трещины в высоких моделях. В верхних слоях модели материал остывает быстрее. Тепло от подогрева стола не достигает такой высоты, и поэтому адгезия в верхних слоях ниже.
	Пропуск слоев. Данная ошибка возникает в случае, если принтер не смог подать необходимое количество пластика.
	Оплавление и деформация модели. Причиной этого чаще всего становятся неправильные настройки температуры печати и объемной скорости подачи материала [7].

В качестве альтернативного решения, разработанная архитектура приложения, использующего нейронную сеть для автоматического обнаружения сбоев в процессе печати по технологии FDM, что позволяет минимизировать влияние этих факторов. Архитектура приведена на рис. 1.

Архитектура приведена на рис. 1.

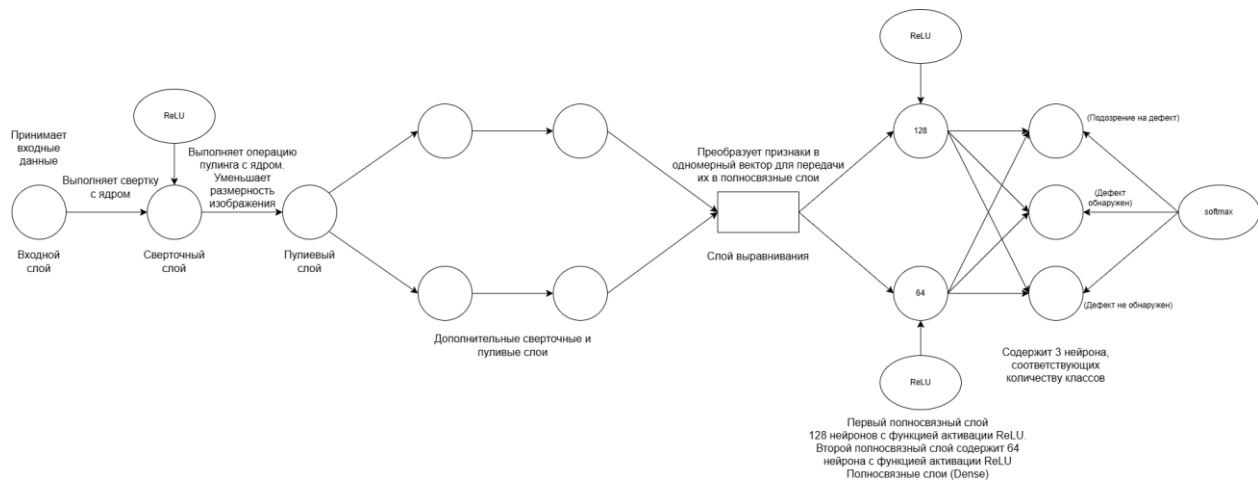


Рис. 1. Архитектура разработанной нейронной сети

Приложение разработано на языке *Python* с использованием фреймворков для создания графического интерфейса и обучения нейронной сети. Для поиска дефектов на изображении используется сверточная нейронная сеть (*ConvNet/CNN*), поскольку данный тип имеет уникальную архитектуру, специально разработанную для эффективной работы с изображениями и видеоданными.

За счет обучения модели на датасете, включающего большое количество различных дефектов, программа способна распознавать широкий список дефектов, за счет чего будет достигаться ее универсальность. Так же преимуществом приложения является реализация упрощающих и улучшающих удобство использования функций приложения, как, например, хранилище файлов пользователя. Данная опция позволит сохранять в приложении файлы в формате «*name.gcode*» и предназначено для оперативной отправки деталей на печать. Это решение особенно эффективно в производственных процессах, где требуется постоянное и массовое изготовление однотипных деталей.

рокий список дефектов, за счет чего будет достигаться ее универсальность. Так же преимуществом приложения является реализация упрощающих и улучшающих удобство использования функций приложения, как, например, хранилище файлов пользователя. Данная опция позволит сохранять в приложении файлы в формате «*name.gcode*» и предназначено для оперативной отправки деталей на печать. Это решение особенно эффективно в производственных процессах, где требуется постоянное и массовое изготовление однотипных деталей.

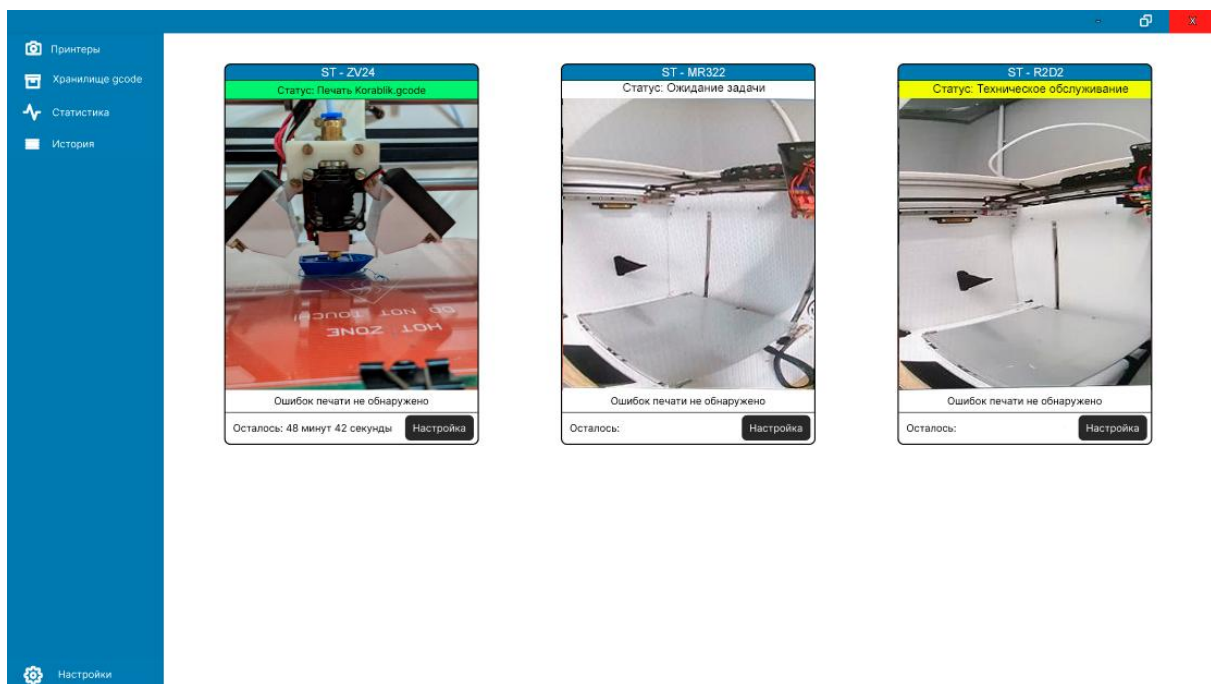


Рис. 2. Технический прототип интерфейса программы

Помимо прочего, данное приложение создано с учетом того, что не все платы управления, установленные в 3D-принтерах, обладают достаточной вычислительной мощностью для ведения прямой трансляции. Поэтому пользователю будет дан выбор между потоковой передачи видео с камеры и периодической съемкой, которая будет гораздо меньше нагружать «мозги» принтера. Полученные изображения будут передаваться на компьютер с установленным приложением, где нейронная сеть будет анализировать состояние процесса печати.

Для улучшения поиска дефектов планируется реализовать функцию, которая позволит нейронной сети «видеть» 3D-модель заданного изделия и сравнивать с тем, что печатается на данный момент. Технический прототип интерфейса приведен на рис. 2.

Стоит отметить, что хоть в аддитивном производстве подобные нейросети на данный момент практически не используются, некоторые компании начинают делать первые шаги в эту сторону.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование нейронной сети в сфере 3D-печати методом FDM позволит сократить потери пластика в случае возникновения дефектов. Особенно это актуально для компаний, которые занимаются промышленной печатью изделий на заказ. Тем не менее, это пригодится и обычным пользователям, которые занимаются 3D-печатью в качестве хобби.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Avoiding Spaghetti in 3D Printing: A Step-by-Step Guide / [Электронный ресурс] // The 3D Printer Bee: [сайт]. – URL: <https://the3dprinterbee.com/3d-printing-spaghetti/> (дата обращения: 15.09.2024).
2. Borokin, A. Сверточные нейронные сети (CNN) / Borokin A. [Электронный ресурс] // Your to do: [сайт]. –

URL: <https://yourtodo.ru/posts/svertochnyye-nejronnyie-seti-cnn/?ysclid=m1dlt3b3wv768467317> (дата обращения: 14.09.2024).

3. FDM технология. Как это работает. / [Электронный ресурс] // 3DTool : [сайт]. – URL: <https://3dtool.ru/stati/fdm-tehnologiya-kak-eto-rabotaet/?ysclid=m27a7c2kpd878049775> (дата обращения: 20.08.2024).

4. Водолазский, Д. Как сверточные нейросети имитируют работу мозга / Д. Водолазский, А. Патрушева [Электронный ресурс] // Блог Практикума: [сайт]. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/svertochnye-neyronnye-seti/> (дата обращения: 15.09.2024).

5. Ермаков, А. Настоящее и будущее 3D-печати: проблемы и прогнозы / А. Ермаков [Электронный ресурс] // Контур | Журнал: [сайт]. – URL: <https://kontur.ru/articles/4708?ysclid=m1wicmflgx332172272> (дата обращения: 25.08.2024).

6. Перспективные направления развития 3D-печати / [Электронный ресурс] // Vektorus : [сайт]. – URL: <https://vektorus.ru/blog/aktualnost-3d-pechati.html?ysclid=m1wi7r2c1d798202096> (дата обращения: 25.08.2024).

7. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: учебное пособие / Е. В. Преображенская, Т. Н. Боровик, Н. С. Баранова. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – Часть 1. – 173 с. – ISBN 978-5-7339-1397-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/182474> (дата обращения: 29.10.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Проблемы качества 3D-печати / [Электронный ресурс] // Техно 3D : [сайт]. – URL: <https://3dpt.ru/page/faq> (дата обращения: 20.08.2024).

9. Руководство по устранению распространенных проблем 3D-печати / [Электронный ресурс] // 3DiY Shop : [сайт]. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/rukovodstvo-ustraneniyu-problem-3d-pechati/?ysclid=lzyeadidrh655360138> (дата обращения: 20.08.2024).

10. Удилов, Н. С. Нейронные сети: исторический обзор развития, формирования и особенности нейронных сетей в сравнении с биологическими сетями / Н. С. Удилов // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 106-11. – С. 119–125. – DOI 10.18411/trnio-02-2024-620. – EDN DGUMZE. (дата обращения: 29.10.2024)

11. Федулов, Д. Для чего строят и обучают нейросети в IT / Д. Федулов, И. Никитина [Электронный ресурс] // Блог Практикума: [сайт]. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-neyronnye-seti/#vidy> (дата обращения: 14.09.2024).

УДК62-833.4

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-62-65

И. А. Генералов, А. А. Курилов

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ ПОДЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ*

Волгоградский государственный технический университет
E-mail: IvanGeneral2003@gmail.com, aleksandrkurilovd@gmail.com

Изложены результаты исследования в области снабжения питанием малогабаритных подвижных объектов. Описана предложенная система для подзарядки аккумуляторов с помощью малогабаритного бесколлекторного электродвигателя, работающего в режиме генератора, вал которого раскручивает малогабаритный двухтактный двигатель внутреннего сгорания.

Ключевые слова: генератор, аккумулятор, ДВС, источник питания

© Генералов И. А., Курилов А. А., 2024.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и администрации Волгоградской области № 24-29-20242, <https://rscf.ru/project/24-29-20242/>.

I. A. Generalov, A. A. Kurilov

SMALL-SIZED GENERATOR CONTROL SYSTEM FOR RECHARGING BATTERIES

Volgograd State Technical University

Research in the field of power supply for small-sized mobile objects. Description of the proposed system for recharging batteries with the power of a small-sized brushless electric motor operating in the mode of a generator, the shaft of which spins a small two-stroke internal combustion engine.

Keywords: generator, battery, internal combustion engine, power supply

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) приобретают все большую популярность и находят широкое применение в самых различных областях. Успех и эффективность работы БПЛА во многом зависят от продолжительности их работы, что, в свою очередь, напрямую связано с источниками питания, используемыми для их питания. Существует три основных направления увеличения продолжительности полета БПЛА за счет:

- 1) увеличения емкости источников питания БПЛА
- 2) повышения энергоэффективности самого БПЛА;
- 3) подзарядки (замены) источника питания.

Первое направление, на данный момент, достигается в основном за счет увеличения запаса энергии на борту за счет массы аккумуляторов, что в свою очередь, влечет за собой увеличение собственной массы БПЛА. В конечном счете, тяга летательного аппарата уменьшается, и машина в большей степени, начинает выполнять задачу транспортировки собственного веса.

У третьего направления существуют следующие решения:

- 1) использование «привязанных» мультироторных БПЛА. У них источник питания находится на земле и электроснабжение осуществляется через проводную сеть. Преимуществом является неограниченное время полета, но недос-

татком является ограниченный радиус полета;

- 2) схема, содержащая источник питания на основе аккумуляторных батарей, которые подзаряжаются в полете за счет других источников энергии.

Также для увеличения времени полета БПЛА можно использовать как разные типы привода винта, так и разные типы источников питания. В исследовании [2] были проанализированы разные решения проблемы. Известны конструкции с механическим и электрическим типом привода. Достоинства механического состоят в большом весе полезной нагрузки, высокой продолжительности полета и нормальном функционировании при низких температурах. Но у такого привода сложная конструкция из-за наличия системы зажигания и охлаждения, радиопомехи, высокие массогабаритные характеристики и низкая степень маневренности.

Электрический привод прост по конструкции и в эксплуатации, имеет высокую степень маневренности, меньше шумит и характеризуется невысокими массогабаритными показателями. Но в недостатках – малое время полета, большая масса источников питания, малый вес полезной нагрузки, и плохая переносимость низких температур. Такие БПЛА могут оснащать различными источниками питания, сравнительные характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Анализ источников питания БПЛА

Тип источника питания	КПД, %	Массовая удельная мощность (S_m), кВт/кг	Объемная удельная мощность (S_v), кВт/м ³
Водородные топливные элементы	40	$13 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3$
Бензин, керосин, метанол, этанол, СНГ(пропан)	39	$5 \cdot 10^3 - 11 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3$
Солнечные панели	22	$0,05 \cdot 10^3 - 0,2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3$
Суперконденсаторы	98	$0,009 \cdot 10^3 - 0,01 \cdot 10^3$	$0,02 \cdot 10^3 - 0,1 \cdot 10^3$
Лазер	22	$0,05 \cdot 10^3 - 0,2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3$
АКБ	77	$0,04 \cdot 10^3 - 0,4 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 10^3$

Хоть и по массовой удельной мощности лидируют водородные топливные элементы и топливо для двигателей внутреннего сгорания, но в современных БПЛА наиболее часто применяют аккумуляторные батареи, т.к. системы с двигателями внутреннего сгорания обладают высокими массогабаритными характеристиками, что значительно снижает маневренность БПЛА, а источник питания, основанный на топливных элементах имеет существенный недостаток, заключающийся в большой степени его инертности, что также снижает маневренность БПЛА.

Для снижения влияния перечисленных недостатков известных устройств предложено использовать малогабаритный двигатель внутреннего сгорания с генератором для выработки электрической энергии во время полета и подзарядки уменьшенных по размеру аккумуляторов БПЛА. Для обеспечения работы такой установки сконструирована система управления таким малогабаритным генератором. Система (рис. 1) состоит из двигателя внутреннего сгорания 1, к которому подсоединен бак с топливом 7 и глушителем 8. Также коленвал двигателя муфтой 6 соединен с валом ротора бесколлекторного двигателя 2, выполняющего роль генератора. Выход генератора соединен последовательно с выпрямителем тока 4 и стабилизатором тока 5, которые, в свою очередь, подсоединены к аккумуляторному блоку 3. Все элементы жестко закреплены на корпусе 9, который обшит звукоизоляцией.

Система работает следующим образом: при включении двигателя внутреннего сгорания 1

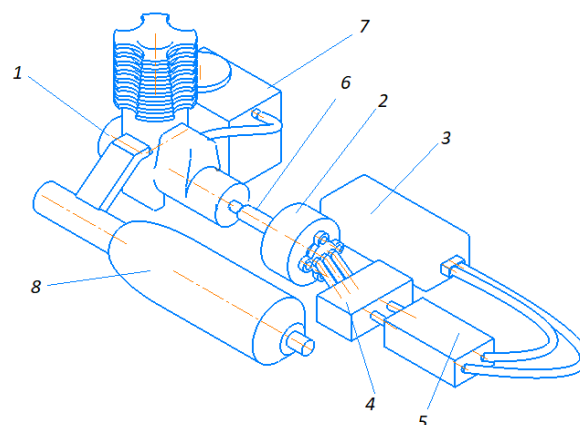


Рис. 1. Схема малогабаритного генератора на основе ДВС

в его камеру сгорания подается топливо из бака 7. Выхлопные газы из ДВС проходят через глушитель 8 и выводятся из системы в атмосферу. Крутящий момент коленвала ДВС передается через соединительную муфту 6 на вал ротора генератора 2. При вращении ротора генератора вырабатывается переменный ток, который, проходя через выпрямитель тока 4 и стабилизатор 5, поступает в аккумуляторный блок 3. Вся система защищена корпусом 9, на котором и закреплена.

Так как роль генератора в системе выполняет бесколлекторный двигатель, то на выходе он выдает трехфазный ток. Но аккумулятор заряжается от прямого тока, поэтому нам нужно преобразовать переменный ток в постоянный с помощью выпрямителя тока. Используя данные из статьи [3], выберем шестипульсовую систему выпрямления на основе диодного моста (рис. 2).

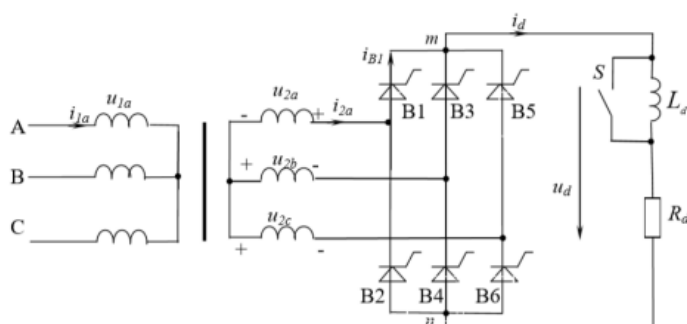


Рис. 2. Шестипульсовая система выпрямления тока

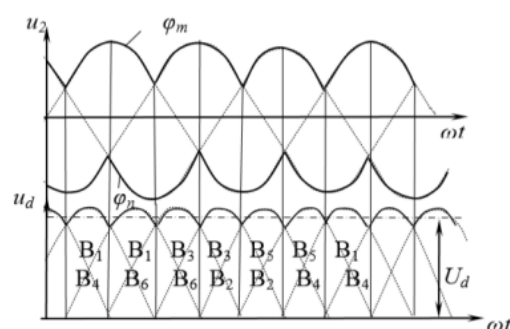


Рис. 3. Изменение напряжения на нагрузке

Схему можно рассматривать как состоящую из двух трехфазных нулевых схем выпрямления. Вентили B1, B3, B5 образуют катодную группу, B2, B4, B6 – анодную. В катодной группе в любой момент времени работает один

из клапанов, тот, в фазе которого напряжение наиболее положительное. Потенциал ϕ_m на выходе этой группы равен верхней огибающей кривой фазных напряжений (рис. 3) вторичной обмотки трансформатора.

Напряжение в нагрузке равно разности потенциалов точек m и n , и равно линейному напряжению вторичной обмотки трансформатора. Пульсность данной схемы $p=6$. Что приводит к появлению гармоник тока, потребляемых из сети. Так же искажается форма питающего напряжения. Для того, чтобы избавиться от гармоник тока нужно установить на выходе выпрямителя стабилизатор напряжения [1].

Была создана экспериментальная установка для вычисления КПД генератора от нагрузки (рис. 4). Она состоит из коллекторного двигателя 1, который раскручивает вал бесколлекторного двигателя 2, который работает в режиме генератора. Двигатели соединены между собой муфтой.

В результате эксперимента получены результаты, приведенные в табл. 2.



Рис. 4. Экспериментальная установка для определения КПД

Таблица 2

Результаты эксперимента

			Выходные значения			КПД, %
I , А	U , В	P , Вт	I , А	U , В	P , Вт	
2,00	7,50	15,00	0,75	3,00	2,25	15,00
3,00	13,00	39,00	1,30	5,20	6,75	17,31
3,80	18,00	68,40	1,81	6,80	12,31	18,00

Исходя из результатов эксперимента можно сказать, что при увеличении нагрузки на вал генератора его КПД будет увеличиваться. Т.е. максимальную эффективность генератор будет иметь на повышенных оборотах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авторское свидетельство № 1198491 А1 СССР, МПК G05F 1/569. Стабилизатор постоянного напряжения с защитой по току и по минимальному входному напряжению : № 3741811 : заявл. 27.02.1984 : опубл. 15.12.1985 / Э. А. Вартапетов, А. М. Маранджян, М. А. Гамбарян [и др.] ; заявитель Ереванский научно-исследовательский проектный институт автоматизированных систем управления городом. – EDN MNBUKL.

2. Головатый, А. В. Анализ БПЛА и источников их питания для проведения технического мониторинга объектов / А. В. Головатый // Проблемы повышения эффективности научной работы в оборонно-промышленном комплексе России : матер. V Всерос. науч.-практ. конф., Знаменск, 24–25 марта 2022 года / сост. С. Н. Бориско. – Астрахань : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет», 2022. – С. 153–160. – EDN WVXMHF.

3. Шарипов, Л. А. Исследование трехфазного выпрямителя тока, применяемого для управления электрическими двигателями постоянного тока / Л. А. Шарипов // Перспективные материалы науки, технологий и производства : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 24 мая 2022 года. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 338–342. – EDN IWURZC.

УДК 66:02 (075)

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-66-69

*А. Б. Голованчиков¹, П. П. Залипаев¹, О. А. Залипаева^{1, 2}, С. Г. Поступаева¹***ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГЕНРИ
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКЕ
ПО МАССЕ ПОГЛОЩЕННЫХ ПАРОВ**¹Волгоградский государственный технический университет²Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

E-mail: pahp@vstu.ru, zalipaevpavel@mail.ru, zalipaevaolga@yandex.ru, posvetlana@mail.ru

Рассматривается процесс абсорбции паров этанола водой в автоматизированной экспериментальной установке. Приводится порядок определения коэффициента Генри по массе уловленных паров поглощаемого компонента. Описывается уточненная методика нахождения равновесной зависимости процесса абсорбции. Даются рекомендации по применению предлагаемой методики для технологических расчетов абсорбционных колонн.

Ключевые слова: абсорбционная установка, насадочная колонна, коэффициент Генри, равновесная зависимость, технологический расчет

*A. B. Golovanchikov¹, P. P. Zalipaeu¹, O. A. Zalipaeva^{1, 2}, S. G. Postupaeva¹***DETERMINATION OF THE HENRY COEFFICIENT
IN AN AUTOMATED INSTALLATION BY THE MASS
OF ABSORBED VAPOURS**¹Volgograd State Technical University (VSTU)²Volzhsky Polytechnic Institute (branch) VSTU

The process of absorption of ethanol vapors by water in an automated experimental setup is considered. The procedure for determining the Henry coefficient by the mass of captured vapors of the absorbed component is given. A refined method for finding the equilibrium dependence of the absorption process is described. Recommendations are given for the application of the proposed method for process calculations of absorption columns.

Keywords: absorption unit, packed column, Henry coefficient, equilibrium dependence, process calculation

Абсорбция широко применяется в химической, пищевой и смежных отраслях промышленности. В химической технологии процесс абсорбции применяется для разделения газовых смесей, очистки газов, выделения паров из паро-газовых смесей. В пищевой промышленности углекислым газом насыщают безалкогольные напитки, пиво и некоторые сорта вин. В спиртовом и винодельческом производствах из газов, выделяемых при брожении, улавливают спиртовые пары путем поглощения их водой.

При взаимодействии газовой смеси с жидкостью, поглощающей один из газов этой смеси, образуется система, состоящая из двух фаз – жидкой и газообразной, и трех компонентов – абсорбента, поглощаемого и инертного веществ [1–3]. В процессе абсорбции поглощаемое вещество в результате диффузии переходит из газовой фазы в жидкую, одновременно существует и обратный процесс. Если количество вещества, переходящее в единицу времени из газовой фазы в жидкую, превышает его количество,

переходящее в обратном направлении, то результатом процесса является односторонний процесс переноса вещества из газовой фазы в жидкую. Вследствие чего концентрация поглощаемого вещества в жидкой фазе возрастает, а в газовой фазе убывает. При продолжительном контактировании фаз между ними устанавливается состояние динамического равновесия. Тогда количества веществ, переходящих в обоих направлениях, становятся равными. Односторонний переход поглощаемого вещества прекращается, его концентрации в фазах остаются постоянными (равновесными) [1–3].

Основным законом состояния равновесия в системах газ-жидкость является закон Генри, в котором парциальное давление поглощаемого газа пропорционально его мольной концентрации в растворе

$$p^* = E \cdot x, \quad (1)$$

где p^* – парциальное давление поглощаемого газа в газовой смеси над раствором в условиях равновесия, Па; E – коэффициент Генри, Па.

Значение коэффициента Генри зависит от природы поглощаемого газа и абсорбента, а также от температуры процесса абсорбции и не зависит от общего давления в системе [1–4].

По закону Дальтона, парциальное давление поглощаемого вещества в газовой смеси определяется

$$p = P \cdot y, \quad (2)$$

где P – общее давление газовой смеси, Па; y – мольная концентрации поглощаемого вещества в газовой смеси.

Для системы газ-жидкость, находящейся в равновесии, закон Дальтона можно записать в виде

$$p^* = P \cdot y^*. \quad (3)$$

Подставив значение парциального давления в уравнение (1), получим следующую форму записи закона Генри

$$y^* = m \cdot x, \quad (4)$$

где $m = E/P$ – коэффициент распределения или константа фазового равновесия, значение которого зависит от природы поглощаемого вещества и абсорбента, от температуры и давления в системе.

Целью работы является нахождение коэффициента Генри по массе уловленных компонентов поглощаемого вещества в автоматизированной абсорбционной установке.

Экспериментальная автоматизированная установка позволяет проводить процесс абсорбции в лабораторных условиях (рис. 1). Абсорбер представляет собой наполненную насадкой цилиндрическую вертикальную емкость. Расход воды, подаваемый в абсорбер в качестве абсорбента, регулируется запорным устройством и измеряется датчиком расхода (*Meter CB-15X*). Через распылитель насадка в абсорбере орошается водой. Уровень воды в аппарате может регулироваться гидрозатвором, расположенном на линии слива воды, и поддерживается стабильным.

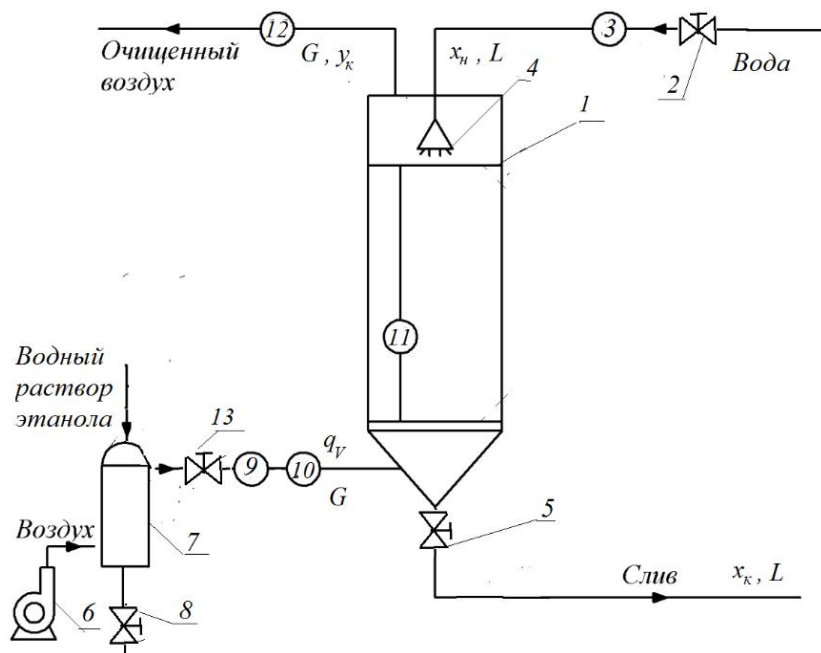


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 – абсорбер; 2, 8, 5, 13 – регулирующие органы; 3 – датчик расхода воды; 4 – распылитель;
6 – компрессор; 7 – ресивер; 9, 12 – концентратометры; 10 – датчик расхода насыщенного этанолом воздуха; 11 – датчик температуры

Абсорбируемый воздух, нагнетаемый компрессором, подается в ресивер, наполненный водным раствором этанола и также снабженным гидрозатвором для поддержания постоянного объема жидкости. Из ресивера обогащенный этанолом воздух подается в нижнюю часть абсорбера, при этом начальная концентрация этанола в воздухе на входе в аппарат

замеряется концентратометром. Расход обогащенного воздуха измеряется расходомером (*Honeywell AWM5104*). Для того чтобы определенной концентрации одной фазы соответствовала строго определенная концентрация другой фазы, необходимо давление и температуру процесса абсорбции принять постоянными [4]. Температура в абсорбере контролируется дат-

чиком температуры (*Dallas Semiconductor DS18B20*). На выходе из аппарата концентрация этанола в очищенном воздухе измеряется аналоговым концентратометром в режиме реального времени. Показания с датчиков поступают на микроконтроллер (*Freeduino 2009*), где при помощи аналого-цифрового преобразователя преобразуются в унифицированные сигналы. После оцифровки данные с микроконтроллера передаются на компьютер, где обрабатываются при помощи специально разработанного графического интерфейса.

Для определения экспериментальной равновесной зависимости используют методику, связанную с динамическим равновесием рабочей концентрации этанола в воздухе и с равновесной концентрацией уловленной массы в абсорбенте. Для этого наполняют ресервер водным раствором этанола и подают в него воздух, который, барботируя через слой жидкости, насыщается парами этанола и подается в нижнюю часть абсорбера. На линии подачи в абсорбер газовой смеси снимают показания датчиков расхода и концентрации этанола. При проведении процесса абсорбции контролируют постоянство температуры и давления в аппарате. Через заданные интервалы времени снимают и фиксируют показания концентрации этанола в воздухе на выходе из абсорбера. Иссле-

дование проводят до момента, когда устанавливается динамическое равновесие, то есть, когда концентрации этанола в воздухе на выходе из колонны остаются постоянными и равными его концентрации на входе. Затем повторяют серию экспериментов, каждый раз увеличивая концентрацию этанола в воздухе при входе в абсорбер. Переводят полученные значения массовых долей этанола в воздухе на входе и выходе абсорбера в относительные мольные концентрации Y_n и Y_k .

По результатам опыта строят ряд кинетических кривых изменения мольных концентраций этанола в воздухе на выходе из колонны от времени при различных мольных концентрациях на входе (рис. 2).

Количество поглощенных паров этанола за время τ_k будет определяться по формуле

$$m = q_v \int_0^{\tau} (y^* - y_k) d\tau, \quad (5)$$

где $y^* = y(x^*)$, q – расход газовой смеси, измеряемый расходомером на линии подачи в абсорбер, кг/с.

Тогда равновесная концентрация в абсорбенте определяется отношением

$$X^* = m/M, \quad (6)$$

где M – молярная масса абсорбента, кг/моль.

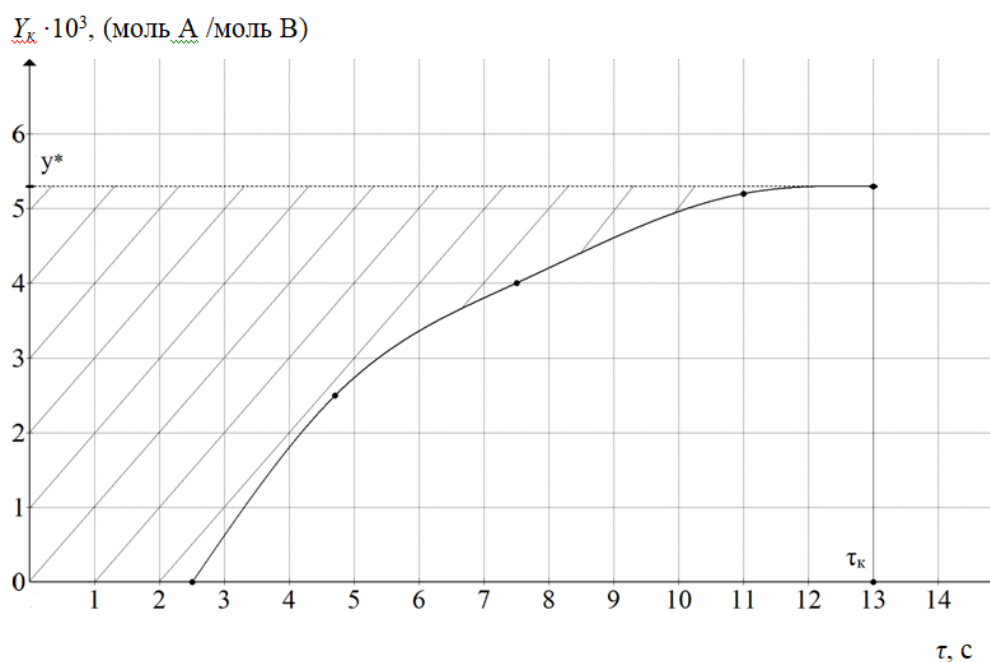


Рис. 2. Кинетическая кривая зависимости концентрации этанола в воздухе от времени на выходе из абсорбера (заштрихованная площадь прямоугольной трапеции соответствует массе уловленных паров этанола)

Таким образом, получаем одну точку динамического равновесия на графике зависимости. Затем, варьируя начальную концентрацию (массовую долю) этанола в воздухе до пяти значений и зная молярную массу M абсорбента в колонне, получаем ряд кинетических кривых, аналогичных представленным на рис. 2 и пересчитанных в дискретные точки динамического равновесия.

Обработывая методом наименьших квадратов полученные значения по динамическому равновесию, получаем численное значение коэффициента распределения m , который определяется как тангенс угла наклона полученной равновесной прямой. Используя показания датчика температуры, датчика расхода жидкого поглотителя и взвешивая массу слитого насыщенного раствора абсорбента, находим по формуле Клайперона–Менделеева давление в системе.

Вычисляем коэффициент Генри для поглощения этанола водой через полученный коэффициент распределения m и найденное давление

$$E = m \cdot P. \quad (7)$$

Представленная методика позволяет экспериментально определять уточненное значение коэффициента Генри и находить равновесную

зависимость для контактируемых фаз при различных условиях проведения процесса абсорбции в массообменных аппаратах, в независимости от их конструктивных особенностей и технологических параметров [5]. Полученные экспериментальным путем равновесные зависимости и значения константы Генри, могут быть использованы при технологических расчетах абсорбционных колонн, в которых не всегда целесообразно использовать справочные данные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет и проектирование массообменных аппаратов : учеб. пособие / под. ред. А. Н. Острикова. – СПб. : Лань, 2015. – 352 с.
2. Cussler E. L. Diffusion: mass transfer in fluid systems. – Cambridge university press, 2009.
3. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для студ. вузов // К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под. ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, 2013. – 576 с.
4. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для студ. вузов / А. Г. Касаткин [и др.]. – М. : Альянс, 2008. – 784 с.
5. Calculations of the Amplitude of Vibrations in Resonant and Near-Resonant Processes of a Vibrating Centrifugal Separator / Golovanchikov, A.B., Zalipaeva, O.A., Merentsov, N.A., Raeva, Y.N. // Optics and Spectroscopy. – 2023. – Vol. 131, Issue 12 (December). – P. 1185–1189.

УДК 621

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-69-72

Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, Д. С. Шалухин, А. М. Макаров

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ПРЯМОГО ОТЖИГА НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЕК ПО ТЕХНОЛОГИИ FDM

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: zhenya.dyachenko.1999@gmail.com, kozenkomichael1999@yandex.ru,
Nisse3012@mail.ru, am34@mail.ru

Проводится исследование влияние системы прямого отжига на процесс формирования изделий из материала РЕЕК по технологии FDM. Приведено описание процесса экструзии материала, изменения состояния РЕЕК при повышении температуры, описание изменения процесса при добавлении системы прямого отжига.

Ключевые слова: 3D-принтер, FFF/FDM, экструзия, термообработка, РЕЕК

Е. А. Dyachenko, M. Yu. Kozenko, D. S. Shalukhin, A. M. Makarov

STUDY OF A DIRECT ANNEALING SYSTEM IN THE PROCESS OF FORMING PRODUCTS FROM PEEK USING FDM TECHNOLOGY

Volgograd State Technical University

The influence of the direct annealing system on the process of forming products from PEEK material using FDM technology is being studied. A description of the process of extrusion of the material is given, the change in the state of PEEK with increasing temperature, a description of the change in the process when adding a direct annealing system.

Keywords: 3D-printer, FFF/FDM, extrusion, heat treatment, PEEK

На сегодняшний день технологии 3D-печати развиваются быстро, однако аддитивные методы производства сталкиваются с определенными трудностями. В частности, проблемы межслоевой когезии, особенно при использовании высокотемпературных филаментов, таких как PEEK, приводят к анизотропности изделий и разрушению вдоль слоев. Данная ситуация подчеркивает необходимость дальнейших исследований для повышения качества и надежности процессов 3D-печати [1].

Гипотезы исследования: существенный температурный разрыв между экструзией и изделием препятствует достаточному нагреву предыдущих слоев материала в точке спекания, что отрицательно сказывается на когезии. Для улучшения ситуации предлагается локально увеличивать температуру предыдущего слоя в момент спекания.

Основными параметрами, которые участвуют в формировании изделия по технологии FDM выступают: материал, объемный расход полимера при истечении через сопло, скорость перемещения печатающей головки, обдув, температура печатающей головки, температура стола и температура термокамеры.

Филамент проходит через экструдер с заданной скоростью подачи, нагревается от нагревательного блока выше температуры плавления и истекает из сопла на поверхность стола, с которым происходит адгезионное взаимодействие, или предыдущий слой полимера, с которым происходит когезионное взаимодействие (спекание), после чего он охлаждается воздухом из обдува для повышения качества детализации.

Температура печатающей головки выше температуры плавления материала на 20–150 °C в зависимости от текучести материала и конкретных значений скорости печати и скорости подачи материала. При этом важно отметить, что температура печатающей головки не равна температуре экструдированного полимера. Термистор показывает температуру материала печатающей головки. Фактически расплав холоднее на несколько десятков градусов. Точное значение зависит от теплопроводности материала нагревательного блока, площади контакта и объемного расхода полимера при истечении из сопла. Все это нужно учитывать при построении экспериментов, так как итоговые результаты на разных принтерах, могут отличаться в некоторых пределах.

Обычно значение температуры стола на 20–30 °C выше температуры стеклования, для улучшения адгезионных свойств при прилипании первых слоев изделия. Температура стола оказывает влияния на первые слои изделия, в пределах одного сантиметра от поверхности стола.

Все что находится выше этой зоны подвержено влиянию температуры термокамеры. При отсутствии активной термокамеры деталь по мере печати, остывая, усаживается, что в свою очередь может привести к искривлению геометрии, дефектам печати или ее срыву. Температура термокамеры устанавливается в пределах близких к температуре стеклования материала и позволяет равномерно прогревать изделие в процессе печати и контролировать равномерную усадку. Влияние термокамеры было освещено в предыдущих работах [2].

Обдув необходим, чтобы после спекания расплава с предыдущим слоем полимера, нить не расплывалась, нарушая геометрию изделия, а быстро охлаждалась до твердого состояния. Особенно это важно при печати нависаний и мелкой детализации, когда поверхность изделия может пострадать от температуры печатающей головки слишком долго находящейся на одном месте. Существующие системы обдува предполагают использование холодного воздуха за пределами термокамеры или непосредственно из термокамеры, что невозможно при печати высокотемпературными материалами. Бловеры, вентиляторы и компрессоры не поддерживают температуру термокамеры. А холодный воздух из внешней среды слишком охлаждает модель и приводит к неравномерной усадке и нарушению геометрии.

Фазовые состояния и термические свойства полимера PEEK: влияние на аддитивное производство.

Полиэфирэфиркетон (PEEK), известный как полукристаллический термопластический полимер, обладает уникальными физико-химическими свойствами, которые делают его перспективным для использования в 3D-печати и других высокотехнологичных приложениях. Его международное обозначение – PEEK (в России – ПЭЭК). На рис. 1 представлены примерные границы фазовых переходов вещества PEEK.

Эксплуатационная температура изделий из PEEK достигает 200 °C, при этом в указанном диапазоне материал остается в твердом кристаллическом состоянии. Важно отметить, что в данной температурной области тепловое рас-

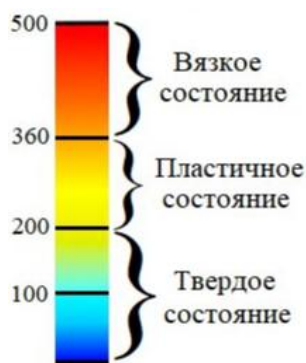


Рис. 1. Границы фазовых переходов для филамента PEEK

ширение полимера минимально, что делает его стабильным для использования в различных условиях. При повышении температуры, начиная с 200 °C, происходит увеличение внутренней пластичности материала без нарушения его общей формы. Температура плавления PEEK колеблется между 350 и 360 °C, в зависимости от конкретной марки полимера. После чего он переходит в вязкотекучее состояния и подходит для экструзии. Следует отметить, что при температуре плавления он еще слишком вязкий, что снижает скорость печати. На практике для экструзии принимаются значения 400–500 °C, так как выше температура PEEK тем меньше его вязкость.

Область параметров печати в технологии FDM для PEEK включает:

1. Температура печатающей головки 400–500 °C.
2. Температура термокамеры 200–250 °C.
3. Температура стола 200–250 °C.

Ключевым аспектом аддитивного производства является процесс спекаемости между слоями, который происходит благодаря передаче кинетической энергии молекул расплава на предыдущий слой. При этом необходимо, чтобы энергия этих молекул была достаточной для того, чтобы повысить температуру молекул предыдущего слоя и инициировать рекристаллизацию с целью формирования монолитной структуры. Одной из значительных проблем, связанных с использованием PEEK, является большой температурный разрыв между температурой расплава и температурой изделия. В результате энергия молекул расплава часто оказывается недостаточной для достижения качественной спекаемости.

В качестве одного из решений обозначенной проблемы выступает термическая обработка изделий из PEEK на протяжении нескольких

суток при температуре 200–240 °C. После этого значения PEEK переходит в пластическое состояние, он становится более упругим и ползучим, происходит снятие внутренних напряжений. Но слоистость остается, так как не происходит полная рекристаллизация вещества, для образования монолитной структуры.

Видимым эффектом полной кристаллизации PEEK выступает его мутность. Если модель из PEEK частично или полностью прозрачная, стекловидная, значит полная кристаллизация полимера не произошла. Полная кристаллизация происходит в зависимости от марки PEEK на 300–360 °C.

Для оптимизации процесса спекаемости предлагается внедрение системы прямого отжига, представляющей собой обдув с контролируемой температурой воздуха. Основная идея состоит в подводе подогретых воздушных масс для выполнения двух функций: обдува модели с целью повышения детализации и локального увеличения температуры предыдущего слоя для сокращения разрыва между температурой расплава и изделия. Для реализации данной стратегии необходимо правильно подбирать параметры объема воздушного потока и его температуры, чтобы температура предыдущего слоя была на 10–15 градусов ниже температуры плавления. Это обеспечивает одновременно охлаждение модели и предотвращение искажения геометрии, что, в свою очередь, повышает межслойную когезию. В дальнейшем зона спекания плавно опускается до температуры термокамеры. Это показано на рис. 2.

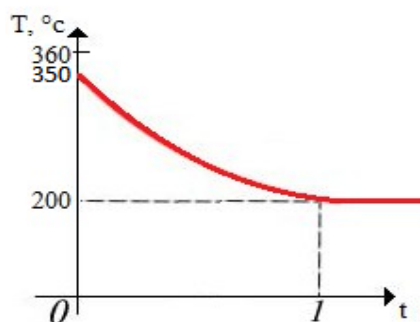


Рис. 2. Границы фазовых переходов для филамента PEEK

В заключение следует отметить перспективность дальнейших исследований в этом направлении, в виду их большой практической значимости для промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FDM-печать // top3dshop: офиц. сайт. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/metod-poslojnogo-naplavleniya.html>

2. Исследование влияния термостатирования рабочей области на механические свойства изделий, получаемых методом послойного наплавления / М. Ю. Козенко, А. М. Макаров, Е. А. Дьяченко, О. И. Сушкова // Известия

ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 73–76.

3. Понимание температуры плавления пластика PEEK: глубокое погружение в свойства полиэфирэфиркетона // goldsupplier : офиц. сайт. – URL: <https://blog.goldsupplier.com/ru/peek-melting-temperature/>

УДК 621.22

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-72-74

Д. В. Кимбор, А. В. Дроботов

СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МАЛОГАБАРИТНЫХ НАСОСОВ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Daniil2001v@gmail.com, alexey.drobotov@gmail.com

Рассмотрена актуальность аддитивных технологий в области производства малогабаритных насосов, проведена адаптация их конструкции для производства методом FDM 3D-печати, проведен экономический расчет затрат, и сделан вывод об экономической целесообразности печати малогабаритного центробежного насоса на 3D-принтере.

Ключевые слова: аддитивные технологии, себестоимость печати на 3D-принтере

D. V. Kimbor, A. V. Drobotov

REDUCING THE LABOR INTENSITY OF MANUFACTURING SMALL PUMPS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

Volgograd State Technical University

There relevance of additive technologies in the field of production of small pumps is considered, their design is adapted for production by FDM 3D printing, an economic cost calculation is carried out and a conclusion is made about the economic feasibility of printing a small-sized centrifugal pump on a 3D printer.

Keywords: additive technologies, cost of printing on a 3D printer

Аддитивные технологии, в частности 3D-печать, приобретают все большее значение в производстве и проектировании различных изделий. Они позволяют создавать сложные геометрические формы и индивидуальные детали без необходимости в традиционных формах и оснастке. 3D-печать способна снизить временные и материальные затраты на производство, облегчить процесс прототипирования и уменьшить влияние человеческого фактора. В настоящее время аддитивные технологии находят широкое применение не только в промышленности, но и в медицине, строительстве, архитектуре и даже в дизайне [3].

В данной работе рассмотрена адаптация конструкции малогабаритных насосов для их производства аддитивными методами, экономика и возможности дальнейшего развития данной области [2].

В целом, адаптация конструкции малогаба-

ритных насосов для производства аддитивными методами может принести значительные преимущества, такие как улучшение производительности, экономия затрат и возможность инноваций в дизайне [3].

Для отработки технологии выбран центробежный насос, который имеет рабочее колесо диаметром 40 мм. Габариты насоса не превышают 60 мм. При создании малогабаритного насоса требовались специализированные решения, которые не всегда возможно реализовать с помощью традиционных методов производства. Центробежный насос имеет сборную конструкцию и состоит из трех основных деталей: рабочее колесо, корпус насоса, задняя крышка с посадочным местом для двигателя и уплотнительное кольцо для предотвращения попадания воды к электродвигателю [2]. Двигатель насоса питается от 5-вольтовой сети постоянного тока, имеет малые габариты.

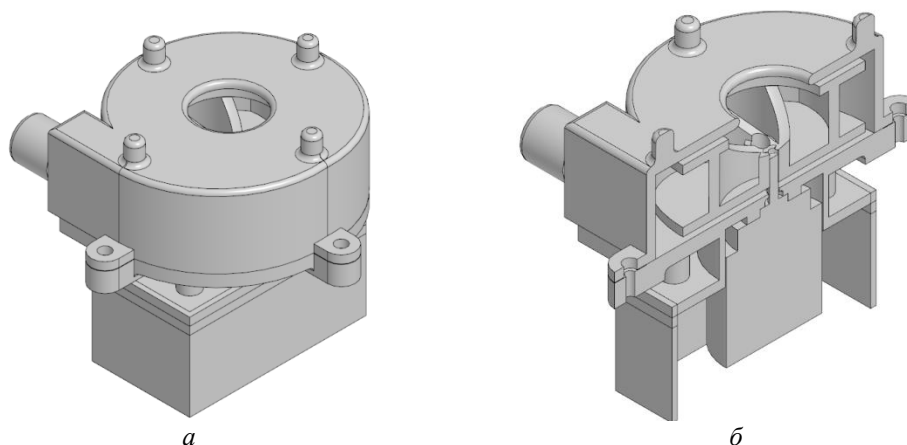


Рис. 1. Малогабаритный центробежный насос:
а – вид в сборе; б – вид с боку в разрезе

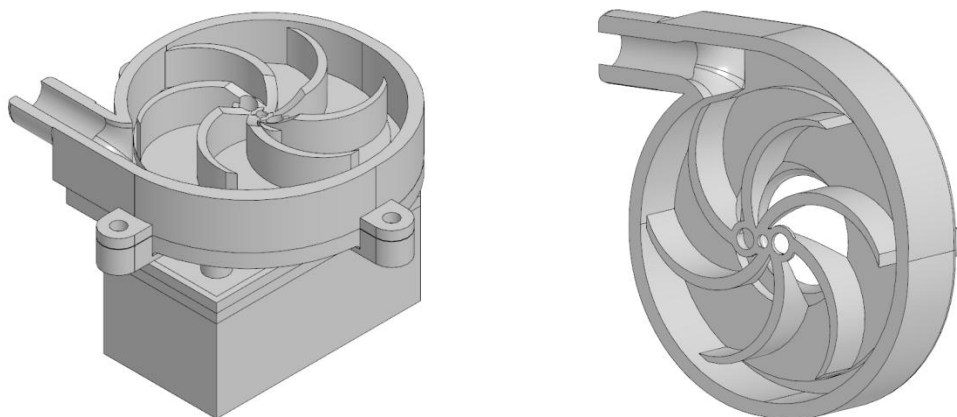


Рис. 2. Рабочая область малогабаритного центробежного насоса в разрезе

Для расчета экономической целесообразности 3D-печати насоса и определения цены печати одной единицы необходимо учесть множество факторов, которые могут сильно варьироваться в зависимости от конкретных условий. Рассмотрим данный расчет подробнее.

Тип материала: выбор материала (например, ABS, PLA, PETG, PA) существенно влияет на стоимость. Каждый материал имеет свою цену за килограмм или за катушку. Необходимо знать точный расход материала на каждую деталь насоса. Это определяется моделированием и последующим расчетом в слайсере, для уточнения можно после печати взвесить пробные образцы.

Расход и стоимость материала: малогабаритный центробежный насос в сборе без электродвигателя весит 39 граммов. Стоимость материала составляет 91 руб. (2,33 руб. за 1 грамм материала PETG).

Время производства (зависит от размера детали, высоты слоя, скорости печати и сложно-

сти геометрии). Для выбранной модели общее время печати – 4,1 ч. Постобработка, при хорошем качестве печати, не требуется. Стоимость работы специалиста за 0,1 ч – 50 руб.

Амортизация принтера: амортизация на печать одного насоса составляет 251 р. Стоимость электричества за 4 ч работы – 18 руб.

Итоговая стоимость печати малогабаритного центробежного насоса (сумма стоимости всех экономических составляющих): 410 Р

Применение аддитивных технологий позволяет значительно снизить трудоемкость производства малогабаритных насосов. Использование 3D-печати сокращает количество этапов производства, исключая необходимость в сложной механической обработке и сборке отдельных компонентов. Это приводит к уменьшению производственных затрат, сокращению сроков изготовления и повышению эффективности всего производственного процесса. Полученные результаты подтверждают перспективность применения аддитивных технологий для мел-

косерийного производства малогабаритных насосов, открывая возможности для создания более сложных и функциональных конструкций с оптимизированными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ способов повышения производительности устройств объемной печати для изготовления сборочных изделий / А. В. Дроботов, А. Р. Авдеев, А. А. Швеиц // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 11. – С. 3–6.
2. Кимбор, Д. В. Оптимизация конструкции малогабаритного центробежного насоса с учетом возможностей

аддитивных технологий / Д. В. Кимбор, А. В. Дроботов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (291) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 51–54. – DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-51-54.

3. Алгоритм деления объемной модели на слои для 3D-печати / И. А. Гушин, А. Р. Авдеев, А. А. Швеиц, А. В. Дроботов // Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2016. – Вып. 11, ч. 2. – С. 99–105.

4. Шеметов, Л. И. Трансформация геометрии образца для механических испытаний конструкционных материалов в FDM-структуре / Л. И. Шеметов, В. Б. Распопина, А. С. Чернышков // iPolytech Journal. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 386–400. – DOI 10.21285/1814-3520-2022-3-386-400. – EDN PSJDTZ.

УДК 656.13.07

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-74-77

Е. Г. Крылов¹, Н. В. Козловцева¹, А. В. Капитанов², Э. Ч. Чибангу¹

АНАЛИЗ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ СТАНЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

¹Волгоградский государственный технический университет

²Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: milly14@rambler.ru, knva2202@yandex.ru,
avkapitanov@mail.ru, ernesttshibangu@gmail.com

Статья посвящена выявлению ключевых факторов, влияющих на уровень обслуживания в автосервисах. Руководствуясь основными положениями теории всеобщего управления качеством (TQM) для оценки услуг, предоставляемых станциями технического обслуживания автомобилей, авторы предлагают использовать теорию привлекательного качества. Результаты данного исследования могут послужить основой для разработки рекомендаций по улучшению качества услуг, повышению конкурентоспособности и удовлетворенности потребителей.

Ключевые слова: обслуживание автомобилей, оценка качества услуг, модель Кано, управление качеством

E. G. Krylov¹, N. V. Kozlovtsseva¹, A. V. Kapitanov², E. Ch. Chibangu¹

THE QUALITY OF SERVICES OF VEHICLE MAINTENANCE STATIONS ASSESSMENT ANALYSIS

¹Volgograd State Technical University

²Moscow State Technological University «STANKIN»

The article is devoted to identifying key factors influencing the level of service in car repair shops. Guided by the basic provisions of the theory of total quality management (TQM) for assessing the services provided by car service stations, the authors propose using the theory of attractive quality. The results of this study can serve as a basis for developing recommendations for improving the quality of services, increasing competitiveness and customer satisfaction.

Keywords: car service, service quality assessment, Kano model, quality management

Автомобильный рынок России претерпел серьезные изменения за 2022–2024 годы. Многие концерны покинули страну, остановились заводы и нарушились поставки комплектующих. Все это отразилось на выпуске новых автомобилей в России, их стоимости и оснащения. Из-за резкого скачка стоимости новых автомобилей, начали дорожать и поддержанные.

Владельцы задумались о том, что теперь будет намного сложнее поменять свой старый автомобиль на новый, и поняли, что необходимо лучше заботиться о транспортном средстве для продления его срока службы. Эти обстоятельства привели к тому, что спрос на услуги автомобильных сервисов значительно возрос, увеличилось число обращений на предприятия.

По итогам маркетингового отчета «Рынок автосервиса в России» за 2023 год емкость рынка сервисных услуг для легковых автомобилей составил 875,6 млрд. рублей. Он учитывает статистику по 69 российским регионам, в которых числится около 97 % парка легковых машин. Сюда входят объемы рынка услуг по техническому обслуживанию и ремонту (511,4 млрд. руб.) и ведущим услугам (364,2 млрд. руб.). На долю официальных дилеров (48,7 млрд. рублей) пришлось 9,5 % от объема рынка услуг по техническому обслуживанию (ТО) и ремонту (Р). Независимые станции технического обслуживания (СТО) заняли примерно вчетверо больше (36,5 % или 186,4 млрд. рублей), а потенциал рынка (т.е. работы, производимые лично автовладельцами или механиками-частниками) эксперты оценивают в 54 % (276,3 млрд. руб.). При расчетах бралась только стоимость самих работ без учета реализации запасных частей и расходных материалов. Кроме того, были подсчитаны и объемы наиболее востребованных услуг таких, как автомойка (158,3 млрд. руб.), шиномонтаж (34,3 млрд. руб.) и кузовной ремонт (171,6 млрд. руб.).

Автомобильный парк в России неоднороден по своей структуре, что обуславливает наличие различных предприятий автосервиса (ПА), способных удовлетворить разнообразные запросы потребителей. Высокие темпы роста автомобильного парка определили повышение спроса на услуги ПА и привели к быстрому развитию предприятий, оказывающих услуги в этой области. В то же время в условиях информационной экономики участники приобретают возможность активного участия в деятельности компании при создании ее ценности и имиджа на рынке [1].

На сегодняшний день успешно функционируют и развиваются ПА разных форм собственности, видов деятельности и форм обслуживания: фирменные центры по техническому обслуживанию и ремонту, дилерские центры, частные независимые СТО и гаражные мастерские. Таким образом, можно отметить, что спрос на услуги по ТО и ремонту автотранспортных средств удовлетворен (или удовлетворяется большая его часть) в количественном плане, при этом уровень качества предоставляемых услуг существенно разный.

В сложившейся ситуации количественного удовлетворения спроса на услуги ПА, их качество становится весомым аргументом в обес-

печении конкурентоспособности. Согласно ГОСТ Р ИСО 9004–2019 «Менеджмент качества. Качество организации» каждая организация должна регулярно проводить мониторинг, анализировать, оценивать и пересматривать среду организации с целью идентификации всех заинтересованных сторон, определения их потребностей и ожиданий, а также их индивидуального потенциального воздействия на деятельность организации [2]. Перед руководителями ПА стоит задача адекватно современным условиям оценить качество услуг по ТО и Р автомобилей, выявить резервы для его повышения, спрогнозировать изменение уровня качества услуг при проведении корректирующих мероприятий. Анализ отечественного и зарубежного опыта, накопленного при создании и использовании различного вида систем управления качеством, построенных на принципах всеобщего управления качеством (TQM), показал, что обязательным этапом при управлении уровнем качества является определение фактического уровня качества продукции предприятия.

В соответствии с ГОСТ 52113–2003 «Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения» качеством товаров и услуг является 21 совокупность свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

В настоящее время наиболее перспективна теория привлекательного качества (*the theory of attractive quality*) или модель Канно, позволяющая лучше понимать, как клиенты оценивают и чувствуют атрибуты предлагаемых услуг.

Метод Канно позволяет оценить эмоциональную реакцию потребителей на отдельные характеристики продукции или услуги. Полученные с его помощью результаты дают возможность управлять удовлетворенностью и лояльностью потребителей [3].

По соотношению степени достаточности и степени удовлетворенности клиента признаки услуги трансформируются в пять категорий качества: привлекательное **A** (*attractive quality*); одномерное **O** (*one-dimensional*); безразличное **I** (*indifferent*); обязательное **M** (*must-be*); нежелательное **R** (*reverse*). Признаки качества услуг являются динамическими, то есть с течением времени признак может изменяться.

Ограничениями, являющимися общими практически для всех показателей качества в современных социально-экономических условиях,

является то, что критерии не соответствуют принципу «брак предупреждать, а не обнаруживать», который стал определяющим практически для всех мировых производителей продукции и услуг. Также ограничивает применение в современной практике достаточно высокая степень их специализации и невозможность или затрудненность распространения на смежные области ТО и Р автомобилей. Все эти ограничения выдвигают требование разработки и исследования универсальных показателей, либо их системы, которые могут быть применены для характеристики качества работ независимо от их назначения.

Для анализа оценки качества услуг было рассмотрено ПА «Автосервис Элси», которое располагается в Ворошиловском районе города Волгограда.

Предприятие предоставляет такие работы как: компьютерная диагностика, регулировка углов «развал-схождения» колес, ремонт и регулировка тормозной системы, электротехни-

ческие работы и работы по ремонту топливной аппаратуры, агрегатные работы.

Для оценки удовлетворенности клиентов ПА было выделено 11 факторов (атрибутов), оказывающих влияние на этот параметр: грамотное консультирование клиентов (X_1), наличие грамот и дипломов у сотрудников (X_2), внимательное отношение к каждому клиенту (X_3), качественные расходные материалы (X_4), современное компьютеризированное оборудование (X_5), соблюдение производственной этики и наличие униформы у работников (X_6), предоставление скидок и бонусов для новичков и постоянных клиентов (X_7), хорошая репутация салона (в т.ч. рекомендации друзей и знакомых) (X_8), наличие запоминающейся вывески (X_9), близость к центру города (X_{10}), взаимодействие с клиентами по сети интернет (в т.ч. по вопросам уже оказанных услуг) (X_{11}).

Для оценки было опрошено 20 потребителей – новых и постоянных клиентов ПА, по результатам которой составлена таблица.

Результаты опроса клиентов по ранжированию атрибутов

Клиент	Ранги по факторам										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
1	2	9	4	11	1	10	6	5	7	8	3
2	3	4	6	9	1	10	11	5	8	7	2
3	1	10	4	5	2	9	11	7	8	6	3
4	1	10	5	11	3	8	7	6	9	4	2
...											
18	1	7	3	8	4	9	10	5	11	6	2
19	2	10	4	9	1	11	8	5	7	6	3
20	1	10	4	7	11	9	5	2	6	3	8
Сумма рангов	51	168	85	170	66	181	174	88	165	109	63

По результатам опроса была составлена диаграмма рангов (рис. 1) и выявлено 6 наиболее важных факторов, влияющих на удовлетворенность потребителей: X_1 – грамотное консультирование клиентов; X_3 – качественные расходные материалы; X_5 – современное компьютеризированное оборудование; X_8 – хорошая репутация салона (в т.ч. рекомендации друзей и знакомых); X_{10} – близость к центру города; X_{11} – взаимодействие с клиентами по сети интернет (в т.ч. по вопросам уже оказанных услуг).

Далее каждый атрибут анализировался с двух позиций. Первая – позитивная формулировка («Ваше отношение к наличию данного фактора»), вторая – негативная формулировка («Ваше отношение к отсутствию данного фактора»). По каждой формулировке предлагалось пять вариантов реакции: 1 – считаю обязательным; 2 – одобряю; 3 – безразлично; 4 – могу терпеть; 5 – не одобряю. Используя матрицу интерпретации результатов опроса по методу Кано, атрибуты удалось распределить на 4 основные категории (рис. 2).

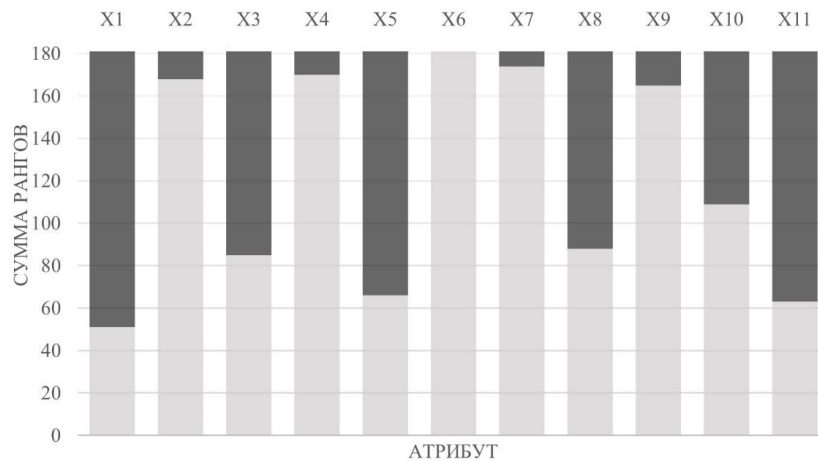


Рис. 1. Ранжирование атрибутов

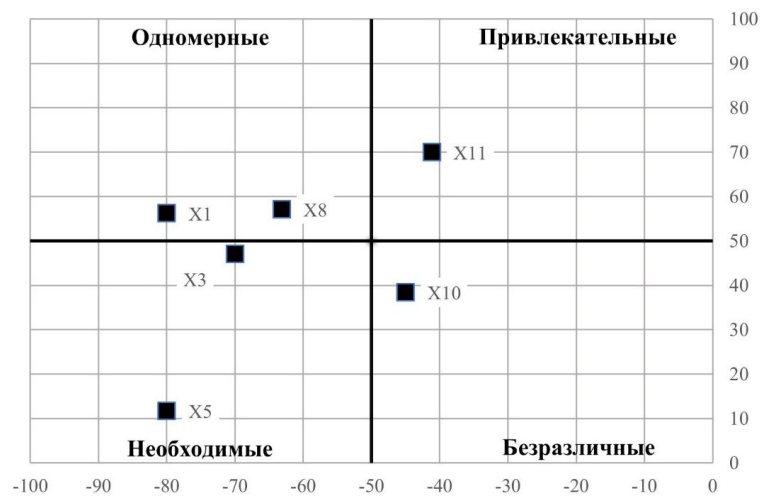


Рис. 2. Распределение категорий воспринятого качества

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для повышения эффективности работы ПА в первую очередь необходимо обратить внимание на использование качественных расходных материалов и современного компьютеризированного оборудования, так как их отсутствие вызывает негативное отношение клиентов, а вот наличие остается практически незамеченным. Далее следует улучшать показатели одномерных свойств, к которым относятся грамотное консультирование клиентов и репутация ПА. Финальным этапом является реализация привлекательных свойств ПА (взаимодействие с клиентами по сети Интернет), так как данная характеристика существенно повышает уровень потребительской удовлетворенности.

Проведенный анализ показал, что для полного и объективного исследования уровня качества услуг, предоставляемых ПА, необходимо использовать многокритериальные методы оценки организационного, технического, тех-

нологического и экономического уровней предприятия. Кроме того, автоматизация оценки качества услуг СТО дает возможность ПА не только оставаться всегда востребованным, но и решить ряд технологических и организационных задач, которые появляются у ПА за время его деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Капитанов, А. В. Система менеджмента качества в условиях цифровизации / А. В. Капитанов, А. В. Козлова // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : матер. Междунар. молодежной науч. конф. В 6-и томах, Казань, 07–08 ноября 2019 года. Том II. – Казань : ИП Сагеева А. Р., 2019. – С. 143–147.
2. ГОСТ Р ИСО 9004–2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации (утв. Приказом Росстандарта от 20.08.2019 N 514-ст).
3. Абакумова, И. В. Исследование удовлетворенности потребителей с использованием метода Кано / И. В. Абакумова // Вестник Амурского государственного университета. Серия Гуманитарные науки. –2021. – № 94. – С. 42–48.

УДК 62-791.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-78-81

А. А. Курилов, И. А. Генералов, А. В. Дроботов

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ПЯТИОСЕВОЙ АДДИТИВНОЙ УСТАНОВКИ
ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: aleksandrkurilovd@gmail.com, IvanGeneral2003@gmail.com,
alexey.drobotov@gmail.com

Предложена система автоматической установки датчика калибровки многоосевой аддитивной установки, которая позволяет автоматизировать один из этапов калибровки, тем самым снижая время подготовки к работе и повышая точность установки датчика. В разработанном варианте печатающая головка сама подхватывает датчик и возвращает его на место. Система проста по конструкции, и из дополнительных электрических исполнительных механизмов требуется только соленоид.

Ключевые слова: автоматическая калибровка, датчик, платформа, сопло, печать

A. A. Kurilov, I. A. Generalov, A. V. Drobotov

**INCREASING PRODUCTION PRODUCTIVITY OF FIVE-AXIS
ADDITIVE MACHINE BY CALIBRATION AUTOMATIZATION**

Volgograd State Technical University

Automatic installation system of the calibration sensor for multi-axis additive machine is proposed. It automates one of the calibration stages, thereby reducing the preparation time for operation and increasing the accuracy of the sensor installation. In the developed version, the printhead picks up the sensor itself and returns it to its place. The system is simple in design, and only one solenoid is required from additional electrical actuators.

Keywords: automatic calibration, sensor, platform, nozzle, printing

Аддитивные установки нашли широкое применение в промышленности для производства серийных изделий и прототипов. Одной из основных их проблем является необходимость регулярной установки зазора между соплом и поверхностью печати (рис. 1), так как он со временем эксплуатации может изменяться. Процесс калибровки проводится оператором, что увеличивает время проведения этого процесса. Неправильно выставленный зазор может привести к отклеиванию детали от поверхности печати, проблемам с подачей материала и несоответствию итоговых размеров печатаемого изделия.



Рис. 1. Выставление нулевой позиции

Способы проведения процесса калибровки разрабатывались и изучались многими научными коллективами и компаниями. В исследовании [1] было представлено решение с расположением датчика калибровки непосредственно внутри печатающей головы аддитивной установки (рис. 2). Устройство состоит из платформы 1, стационарной части печатающей головки 2, пары скольжения 3, сопла 4, нагревательной камеры 5, радиатора 6, датчика 7, воздействующего элемента 8, пружины 9.

Данное устройство автокалибровки предназначено для трехосевого 3D-принтера и работает следующим образом: при касании соплом 4 платформы 1 происходит перемещение воздействующего элемента 8, который замыкает контакты датчика 7, информация далее передается на плату управления, где в дальнейшем учитывается при печати изделия.

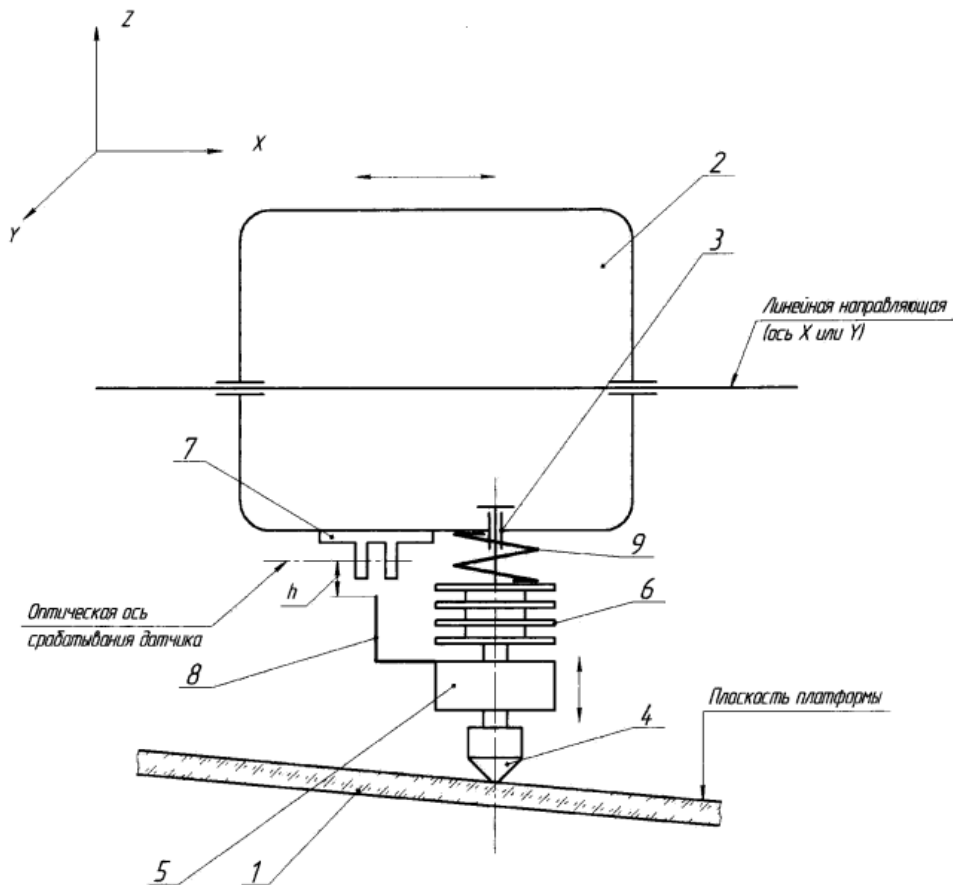


Рис. 2. Система автоматической калибровки расположения платформы

К недостаткам данной системы можно отнести то, что в паре скольжения 3 может быть люфт, который может негативно сказаться на качестве изделия. Также в конструкции печатающей головы необходимо закладывать место, в котором будет располагаться датчик. Расположение датчика внутри печатающей головы увеличит ее массу и усложнит конструкцию, также как следствие снизит максимальную скорость

перемещения печатающей головки, что приведет к увеличению времени печати изделия.

В решении [2] рассматривается метод калибровки платформы для пятиосевого 3D-принтера (рис. 3, 4).

Устройство включает в себя печатающую головку 1, контактный элемент 2, рабочую платформу 3, калибровочную оснастку 4, корпус 5.

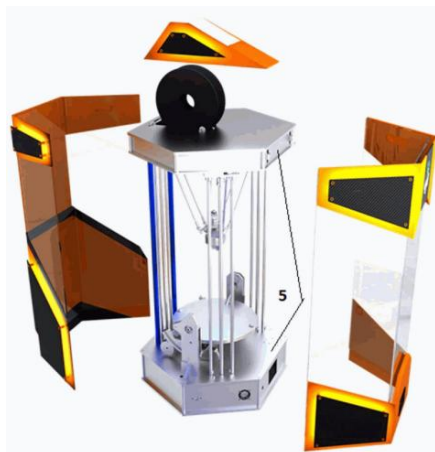


Рис. 3. Общий вид 5D-принтера

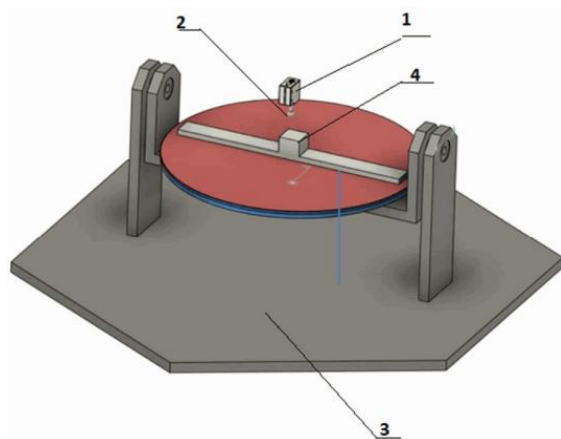


Рис. 4. Расположение оснастки и контактного элемента

Для калибровки пятиосевого 3Д принтера используется датчик с несколькими степенями свободы. В данном способе калибровки необходимо устанавливать калибровочную оснастку 4 на платформу 3 и контактного элемента 2 на печатающую головку. 1 Контактный элемент 2 фиксирует положение калибровочной оснастки 4 и передает данные в компьютер. Недостатком данного метода является то, что датчик и калибровочная оснастка устанавливаются вручную, с помощью оператора, также для проведения процесса калибровки аддитивная установка должна быть подключена к компьютеру, т. к. на нем производятся все необходимые вычисления.

Для ускорения и повышения точности данного процесса предложено устройство для автоматической установки датчика [3] автоматической калибровки аддитивной установки (рис. 5), которое состоит из ложеента 1, внутри которого находится датчик автокалибровки 2, крепления ложеента 3 и соленоида 4, в котором находится шток 5, на котором закреплен фиксатор 6, магнита 7 и двух прижимных пластин 8, 9.

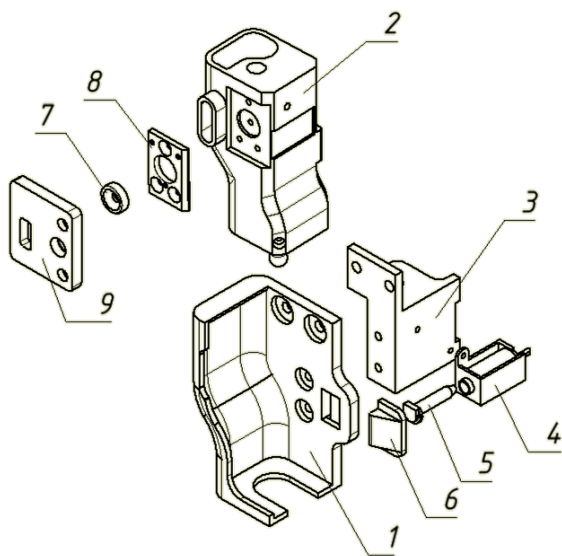


Рис. 5. Устройство для установки датчика автоматической калибровки

Устройство работает следующим образом (рис. 6): при включении режима автоматической калибровки печатающая голова аддитивной установки, на которой находится прижимная пластина 9, подъезжает к датчику автокалибровки 2, который находится в ложементе 1 и зафиксирован с помощью соленоида 4 фикса-

тором 6. После того как прижимные пластины 8, 9 оказались на расстоянии близком друг к другу, они фиксируются между собой магнитом 7 и позиционируются с помощью установочных винтов в трех точках. Затем шток соленоида 5 втягивается, тем самым фиксатор 6 отодвигается, и печатающая головка с датчиком 2 производит процесс автоматической калибровки. После завершения процесса автоматической калибровки процесс повторяется в обратном порядке.

Также была разработана электрическая схема (рис. 7) предложенной системы автоматической установки датчика, которая работает следующим образом. При установке выхода A0 платы управления Ostorpus в логическую единицу (high) поступающие на базу 5 В через резистор R1 откроют транзистор VT1, и через соленоид A1 потечет ток – шток втянется во внутрь.

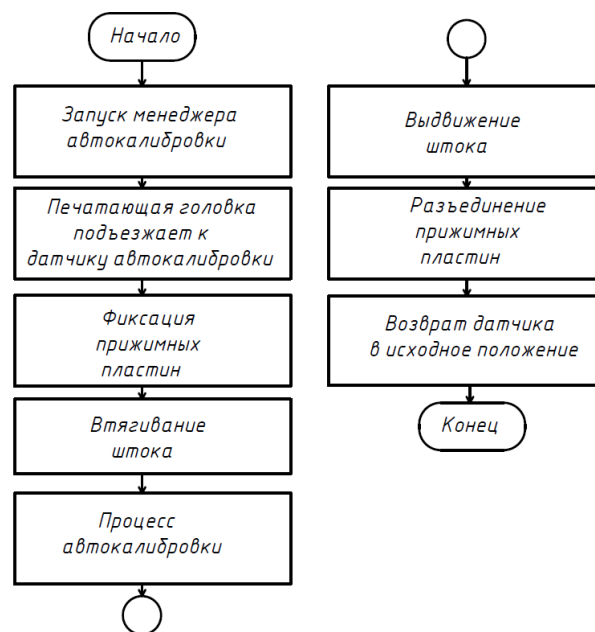


Рис. 6. Алгоритм работы системы установки датчика автоматической калибровки пятиосевой аддитивной установки

При установке выхода A0 в логический ноль (low) база будет заземлена через микроконтроллер, а течение тока заблокировано и шток, под действием пружины, выдвинется в исходное положение. Так как соленоид – это индуктивная нагрузка, то в схеме предусмотрен защитный диод VD2, который ставится встречно параллельно соленоиду A1 и диод VD3 для защиты транзистора VT1 от обратного напряжения.

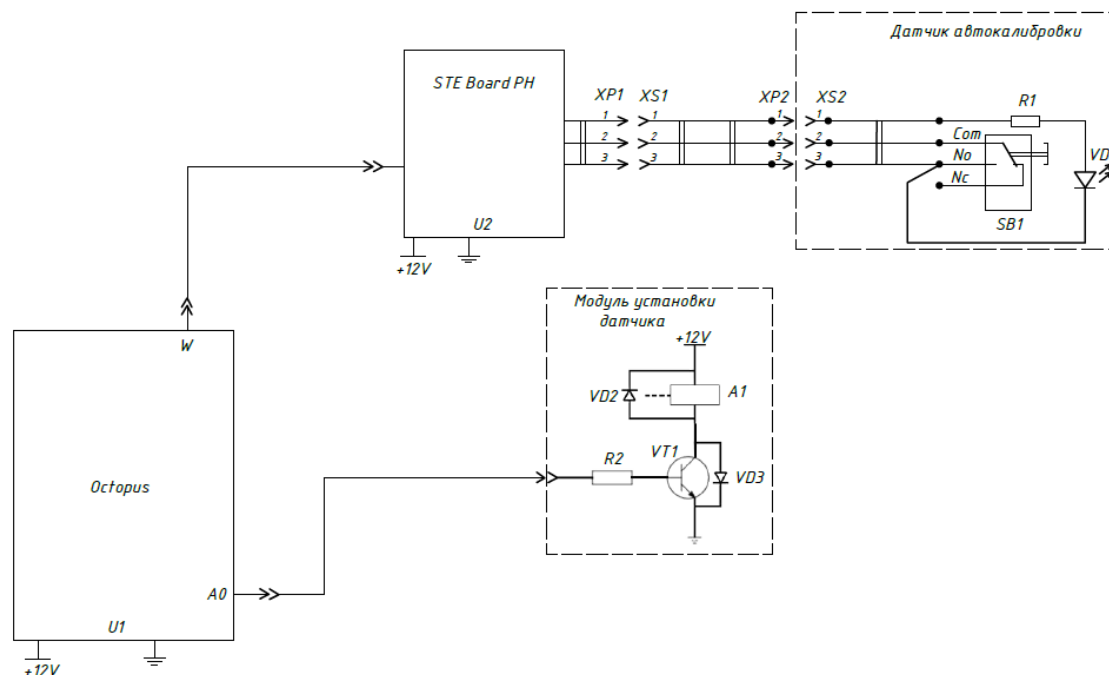


Рис. 7. Электрическая схема

3D-модель данной системы была разработана с помощью программного комплекса машиностроительного конструирования Autodesk Inventor. В устройстве применен новый способ фиксации датчика на печатающей головке и на корпусе, аддитивной установке.

Предложенная конструкция позволяет значительно упростить и автоматизировать процесс автоматической калибровки, сокращая время калибровки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 155203 U1 Российская Федерация, МПК В33У 30/00, В41F 17/00. Система процесса автоматической калибровки расположения платформы трехмерного принтера : № 2014146653/12 : заявл. 19.11.2014 : опубл. 27.09.2015. Бюл. № 27. – 5 с.
2. Пат. 2798311 С2 Российская Федерация, МПК В41F 17/00. Способ калибровки 3D-принтера : № 2021104796 : заявл. 25.02.2021 : опубл. 21.06.2023. Бюл. № 24. – 10 с.
3. Пат. 2812518 С1 Российская Федерация, МПК G01B 7/008, G01B 7/016, G01B 5/016. контактный датчик : № 2023101002 : заявл. 18.01.2023 : опубл. 30.01.2024. Бюл. № 4. – 11 с.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-81-84

Е. А. Макарова, Ю. В. Васильева, В. Г. Барабанов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: m.lipka2015@yandex.ru, vasileva_vu@mail.ru, vbarabanov@vstu.ru

В статье приведены особенности и принцип работы газопоршневых установок. Авторами проведен анализ существующих методов повышения энергоэффективности использования данных установок в составе систем децентрализованной генерации электроэнергии.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, газопоршневая установка, когенерация

Е. А. Makarova, Yu. V. Vasilyeva, V. G. Barabanov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GAS PISTON INSTALLATIONS

Volgograd State Technical University

The article describes the features and principle of operation of gas piston installations. The authors analyzed the existing methods of improving the energy efficiency of using these installations as part of decentralized power generation systems.

Keywords: automated control system, gas piston installation, cogeneration

На сегодняшний день газопоршневые установки получили широкое распространение в качестве автономных или резервных источников энергии в ряде систем, предназначенных для децентрализованного производства электричества. Данный тип установок отличают незначительное влияние подключаемой нагрузки на КПД агрегата, небольшой срок окупаемости, низкие эксплуатационные затраты, а также широкий спектр используемого топлива [1].

Основными составляющими газопоршневой

установки (ГПУ) являются двигатель внутреннего сгорания (ДВС) с электрическим генератором, установленным на валу агрегата. В рассматриваемой системе поступление топлива (горючего газа) и его последующее сжигание приводит к выработке механической энергии, которая далее преобразуется в электроэнергию со стандартными параметрами качества (напряжением и частотой переменного тока). Принцип работы ГПУ подробнее приведен на рис. 1.

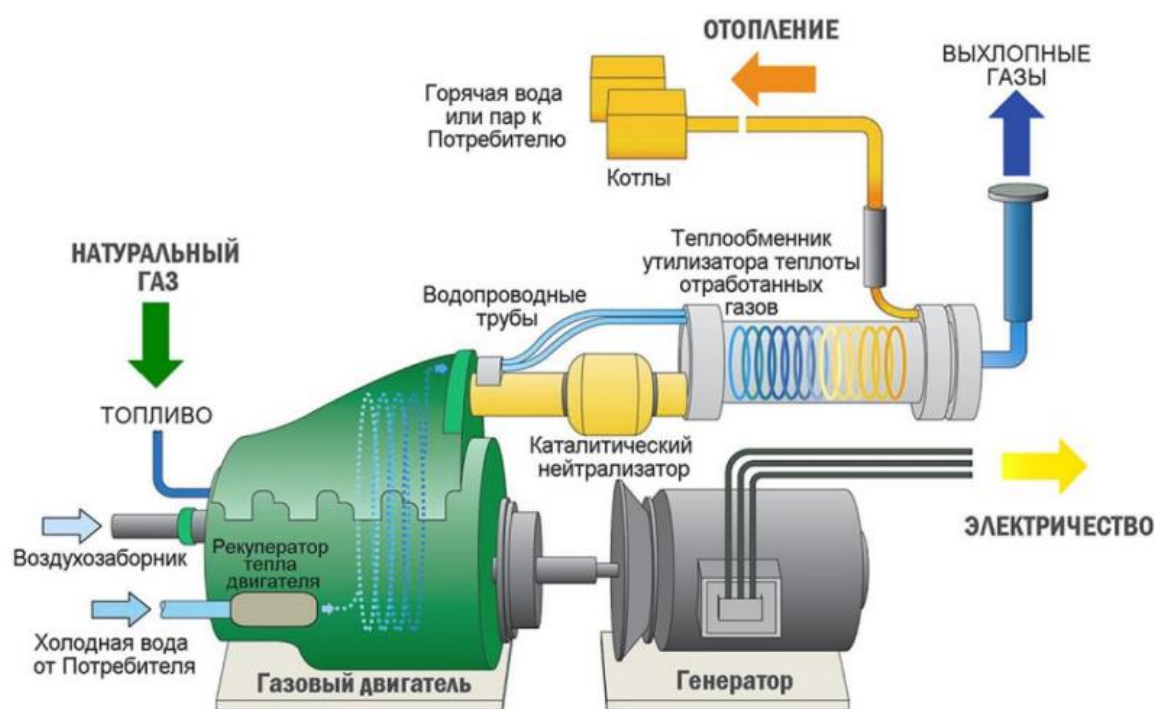


Рис. 1. Устройство и принцип работы ГПУ с системой когенерации

В конструкцию ДВС установки включена наружная система получения топлива, предназначенная для смешивания воздуха с газообразным топливом в требуемых количествах для получения газозвушной смеси. Данный процесс происходит за счет наличия газового смешительного устройства с трубками Вентури. После преобразования выработанная электрическая энергия передается на распределительное устройство генераторного напряжения для ее направления к остальным частям системы.

Зачастую ГПУ, входящие в состав децентрализованных систем отопления, оснащаются рядом вспомогательных подсистем, обеспечивающих их надежность и стабильную работу при эксплуатации. Из таких подсистем можно выделить подсистемы топливоснабжения, вентиляции, подачи масла, тушения пожара и др.

В качестве топлива для ГПУ могут использоваться разные виды горючего газа заданного уровня качества. Наибольшее распространение получило природное углеводородное газообразное сырье, к которому можно отнести коксовальный газ, биогаз, пропан или попутное нефтяное газовое топливо. Применяемый тип газа должен быть совместимым с эксплуатационными характеристиками установленного агрегата по составным компонентам и их концентрации.

В статье авторами рассматриваются особенности и принцип работы ГПУ VISSMANN VITOBLOC 200 EM401/549 согласно техническому заданию от ООО «Промакс». Данный модуль блочной тепловой электростанции (БТЭС) представляет собой готовый к подключению узел в сборе, оснащенный синхронным генератором с воздушным охлаждением для

выработки напряжения переменного тока с заданными параметрами (400 В, 50 Гц). Описанный агрегат состоит из ряда узлов и частей (рис. 2).

Газоснабжение модуля ГПУ осуществляется по газовой рампе с предохранительной арматурой. В агрегат включен газовый фильтр тонкой очистки, предназначенный для защиты последовательно включенных устройств от загрязнения [2]. Фильтровальный холст из полипропилена обеспечивает высокую степень очистки, большую пропускную способность и про-

должительный срок эксплуатации установки и монтируется за пределами модуля. Поддержание газовой смеси в постоянном состоянии выполняет регулятор нулевого давления.

В состав системы включен синхронный генератор переменного тока, который приводится в действие посредством муфты от газового ДВС. Малое содержание гармоник позволяет реализовать режим работы генератора в качестве резервного источника питания в изолированной сети.



Рис. 2. Устройство ГПУ VISSMANN VITOBLOC 200 EM401/549

Электрическая полезная энергия возникает в результате процесса сгорания топлива в газовом ДВС и посредством его вращательного движения преобразуется с помощью синхронного генератора в электрический ток с заданными параметрами качества. В системе применяется ДВС с турбонаддувом и двухступенчатым охлаждением наддувочного воздуха с коэффициентом избытка воздуха около 1,6. Охлаждение днища поршня обеспечивается струей масла под давлением. Отработанные (дымовые) газы выводятся из агрегата через сухой выпускной коллектор.

Интеграция ГПУ в системы децентрализованного производства электроэнергии сопряжена с рядом сложностей, обусловленных осо-

бенностями работы данного вида установок [3]. К актуальным проблемам применения агрегатов стоит отнести прежде всего необходимость отведения большого количества тепловой энергии, высвобождаемой при эксплуатации системы. Отличительной чертой работы данных установок является наличие на выходе из ГПУ газов высоких температур (дымовых газов), а также нагретого масла. В процессе работы агрегата высвобожденное тепло отводится теплообменниками и котлами-утилизаторами от рубашки охлаждения ДВС.

Стоит отметить, что коэффициент полезно используемого тепла топлива ГПУ может составлять порядка 38–45 %, при этом остальная часть вырабатываемой тепловой энергии не на-

ходит полезного использования, а отводится в атмосферу с выхлопными газами и охлаждающей жидкостью.

Для повышения энергоэффективности работы рассматриваемой ГПУ и проведения модернизации ее системы охлаждения авторами был проведен обзор основных методов повышения эффективности эксплуатации подобных установок. К наиболее широко используемым из них можно отнести методы когенерации (тригенерации), а также применение альтернативных видов топлива.

Под когенерацией подразумевают процесс использования отведенного от рубашки ДВС тепла для нагрева теплоносителя (воды). Данная технология получила распространение в составе различных систем горячего водоснабжения (ГВС). В летний период, когда потребность в тепловой энергии снижается, выделяемое агрегатом тепло может быть применено для получения холода в составе компрессорных (абсорбционных) кондиционеров, работающих на тепловой энергии горячей воды или газа. В этом случае данный метод называют тригенерацией.

Можно выделить другой способ повышения энергоэффективности ГПУ – подвод в систему альтернативного топлива, отвечающего требованиям встроенного ГВС по составу и параметрам. Примерами могут послужить свалочный и шахтный газ, а также биогаз. Применение

данных видов топлива позволит значительно повысить эффективность энергетических систем не только за счет прямого снижения потерь, но и благодаря возможности полезного использования газа, который является побочным продуктом деятельности сельского хозяйства и горнодобывающей отрасли.

В результате исследования авторами проведен обзор существующих методов повышения энергоэффективности работы ГПУ в составе систем децентрализованной выработки электроэнергии, что позволит сформулировать задачи модернизации системы охлаждения рассматриваемой ГПУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каплин, А. А. Повышение эффективности газопоршневых установок / А. А. Каплин // Современные тенденции развития науки и технологий : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. 29 апреля 2017 г.: в 5 ч. / под общ. ред. Ж. А. Шаповал. – Белгород : ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2017. – Часть II. – С. 90.
2. Блочная тепловая электростанция для работы на природном газе Vitobloc 200 : [техническое описание] // ГК «Новые технологии» : официальный сайт. – URL: https://vito.nt-rt.ru/images/manuals/vitobloc_200_401_549.pdf (дата обращения: 10.11.2024).
3. Нитченко, К. А. Анализ эффективности утилизации теплоты от газопоршневых установок / К. А. Нитченко, А. И. Шарапов // Молодежь и наука: шаг к успеху. – Липецк, 2020. – С. 204–207.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-84-89

М. Е. Николаев, Е. Ю. Дубцова, А. И. Демченко, Н. С. Бочкарев

ПОЛУАВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ

Институт архитектуры и строительства

Волгоградского государственного технического университета

E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru, Elenakozlovitseva@gmail.com,
demcenkoanna719@gmail.com, Nikita_bochkarev_200@mail.ru

В современном мире в нефтегазовой промышленности широко используются погрузочно-транспортные агрегаты в складских помещениях, при монтаже и эксплуатации буровых установок, при прокладке трубопроводов. В процессе выполнения погрузочно-транспортных операций функциональных возможностей манипуляционного механизма погрузчика и маневрирования шасси относительно погружаемого и транспортируемого объекта не хватает. Поэтому предлагается использовать полуавтоматизированный погрузчик на базе штабелера, с тремя манипуляторами последовательной структуры, транспортной лентой с удерживающими устройствами для груза и сменным контейнером.

Впоследствии предложенный погрузчик позволит автоматизировать процесс погрузки и разгрузки цилиндрических грузов на объектах нефтегазовой отрасли. В результате работы представлена 3d-модель погрузочно-транспортного агрегата, рассмотрен технологический процесс погрузочно-транспортных операций бочек с нефтью в четыре этапа. Рассмотрены геометрические и структурные параметры погрузчика, опреде-

лена степень свободы механизма. Проведено кинематическое исследование манипуляторов погрузчика. Сформированы зоны обслуживания погрузчика, и представлены ограничения точки E выходного звена грузозахватного органа в декартовой системе координат.

Ключевые слова: погрузчик, степень подвижности, манипулятор, грузозахватный орган, сменный контейнер, цилиндрический груз, транспортная лента

M. E. Nikolaev, E. Yu. Dubtsova, A. I. Demchenko, N. S. Bochkarev

SEMI-AUTOMATED LOADING AND TRANSPORT UNIT FOR CYLINDRICAL PIECE LOADS

Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University

In the modern world, loading and transport units are widely used in the oil and gas industry, in warehouses, during the installation and operation of drilling rigs, and during the laying of pipelines. In the process of performing loading and transport operations, the functionality of the loader's manipulating mechanism and maneuvering the chassis, relative to the object being loaded and transported, is not enough. Therefore, it is proposed to use a semi-automated loader based on a stacker, with three manipulators of a sequential structure, a conveyor belt with cargo restraints, and a replaceable container. Subsequently, the proposed loader will automate the process of loading and unloading cylindrical cargoes at oil and gas industry facilities. As a result of the work, a 3d model of a loading and transport unit is presented, the technological process of loading and transport operations of oil barrels in four stages is considered. The geometric and structural parameters of the loader are considered, the degree of freedom of the mechanism is determined. A kinematic study of loader manipulators has been carried out. The loader service areas are formed and the limitations of the point E of the output link of the load-handling body in the Cartesian coordinate system are presented.

Keywords: loader, degree of mobility, manipulator, lifting body, removable container, cylindrical cargo, conveyor belt

В настоящее время в нефтегазовой промышленности на производственных процессах погрузки, разгрузки и транспортировке цилиндрических грузов, в частности бочек с нефтью активно используются погрузчики на базе штабелера. В ходе выполнения технологической операций возникает необходимость в дополнительном маневрировании шасси и манипуляци-

онным механизмом погрузочно-транспортного агрегата, что в свою очередь приводит к снижению его производительности. Поэтому предлагается использовать полуавтоматизированный погрузчик на базе штабелера с тремя манипуляторами последовательной структуры и сменным контейнером [1, 2].

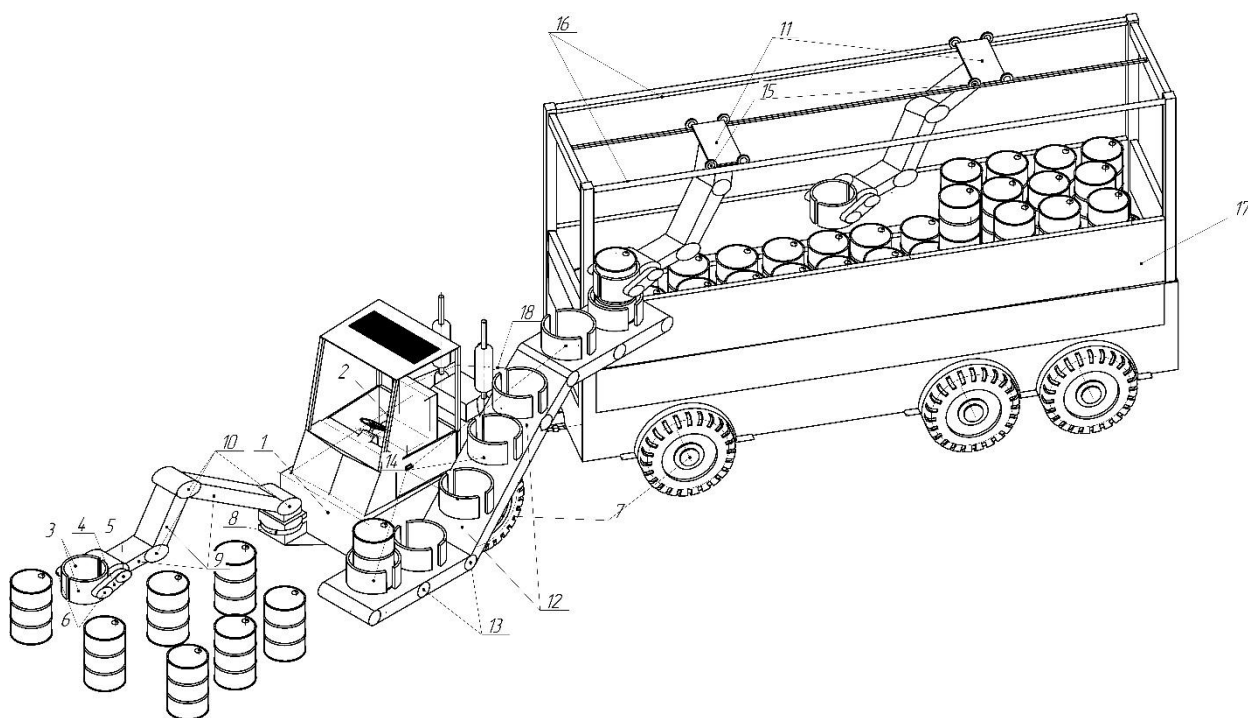


Рис.1. Общий вид погрузочно-транспортного агрегата:

1 – рама; 2 – кабина; 3 – дугообразное звено; 4 – звено, 5 – серводвигатель; 6 – опорный ролик; 7 – двухосное шасси; 8 – поворотное основание; 9 – исполнительные звенья; 10 – привод манипулятора; 11 – шарнир; 12 – конвейерная лента; 13 – ролики; 14 – лопасти; 15 – колеса; 16 – рама; 17 – выдвижной контейнер

Полуавтоматизированный погрузчик состоит из рамы 1, на которую устанавливается кабина 2, в которой размещен аккумуляторный блок 18. Поворотного основания 8, на котором установлен манипулятор последовательной структуры, состоящий из трех звеньев 9 и четырех исполнительных приводов 10, соединенных шарнирами 11, которые позволяют осуществлять необходимое позиционирование грузозахватного органа, состоящего из серводвигателей 5 и дугообразных звеньев 3. К раме погрузчика прикреплена транспортная конвейерная лента 12, механизм и поддержка которой осуществляются благодаря роликам 13, на са-

мой ленте установлены удерживающие устройства цилиндрической формы 14, предназначенные для фиксации груза во время движения. Кузов погрузчика выполнен выдвижными вертикальными опорами, верхняя часть которых оборудована рельсами, по которым перемещаются платформы 11, на которые в свою очередь крепятся два манипулятора. Кроме того, кузов погрузчика оснащен выдвижным сменным контейнером 17, процесс извлечения которого осуществляется посредством вращения роликов в нижней части кузова (рис. 1).

Работа погрузочно-транспортного агрегата разделяется на четыре этапа (рис. 2).

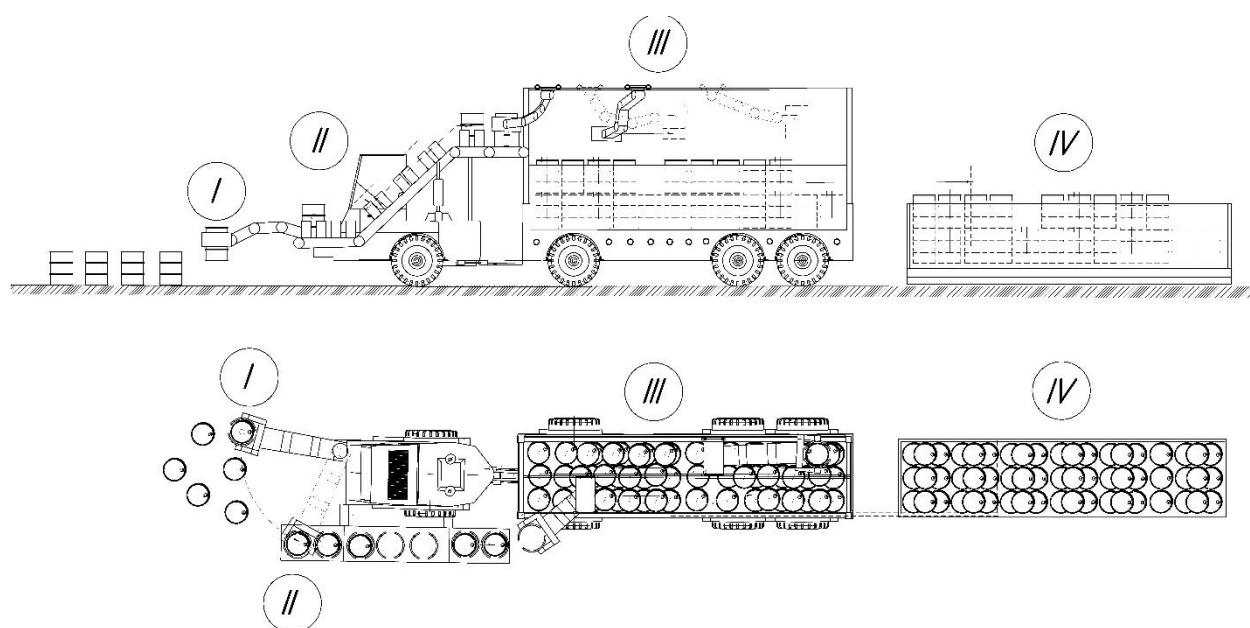


Рис. 2. Технологический процесс погрузки, транспортировки и разгрузки бочек

На первом этапе технологического процесса погрузочно-транспортный агрегат, под управлением оператора, осуществляет необходимое перемещение и маневрирование по промышленному объекту с помощью 4-х осного шасси до цилиндрического груза, например, до бочки с нефтью, после чего останавливается. С помощью поворотной платформы, исполнительных звеньев и приводов манипулятора грузозахватный орган подводится к захватываемому объекту в вертикальной и горизонтальной плоскости в ручном режиме с помощью оператора.

На втором этапе происходит захват груза клещевым грузозахватным органом, выполненным из трех звеньев. Далее в автоматическом режиме происходит перемещение объекта на транспортную ленту, где он устанавливается в специальные удерживающие устройства для

обеспечения лучшей устойчивости во время перемещения. На раме ленты расположены два датчика перемещения, которые замедляют ее, когда объект устанавливается или снимается.

На третьем этапе, используя два поочередно подходящих манипулятора последовательной структуры на роликовых основаниях с электроприводом, груз захватывается и по заданным координатам помещается в сменный контейнер.

На четвертом этапе, когда контейнер наполнился, он выгружается из транспортного основания с помощью приводных роликов и загружается на транспортное средство или место хранения.

Подвод рабочего органа, захвата груза и установка на транспортную ленту осуществляется в ручном режиме, а все остальные опера-

ции в автоматическом: захват бочки с транспортной ленты, перемещение манипулятора по кузову погрузчика и установка груза в сменном контейнере.

При работе погрузчика, может произойти заклинивание манипуляционных механизмов, поэтому необходимо произвести кинематический анализ погрузочно-транспортного агрегата.

Структурная схема механизма, имеет три одинаковых манипулятора последовательной структуре. Степень подвижности, которых равна 5, манипулятор который расположен спереди на раме погрузчика может иметь шесть в степеней подвижности за счет глобального перемещения шасси, остальные два, которые крепятся в задней части погрузчика к раме кузова, могут так же иметь шесть степеней свободы за счет перемещения оснований с роликовыми опорами на которых они расположены (N_1 , N_2 ,

N_3 , N_4 , N_5). При правильной работе механизма, должно соблюдаться условие нормальности – количество звеньев должно соответствовать степени свободы $W=N$. Определение степени подвижности манипуляторов погрузчика определялась по формуле Сомова-Малышева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 4p_3 = 5, \quad (1)$$

где $W(n, p_i)$ – степень свободы механизма манипулятора погрузчика; n – количество подвижных звеньев в манипуляционном механизме погрузчика; p_i – класс кинематической пары i -й подвижности.

Основной задачей при кинематическом исследовании механизма является построение рабочей зоны обслуживания, формирование которой происходит за счет перемещения точки E выходного звена грузозахватного органа (рис. 3).

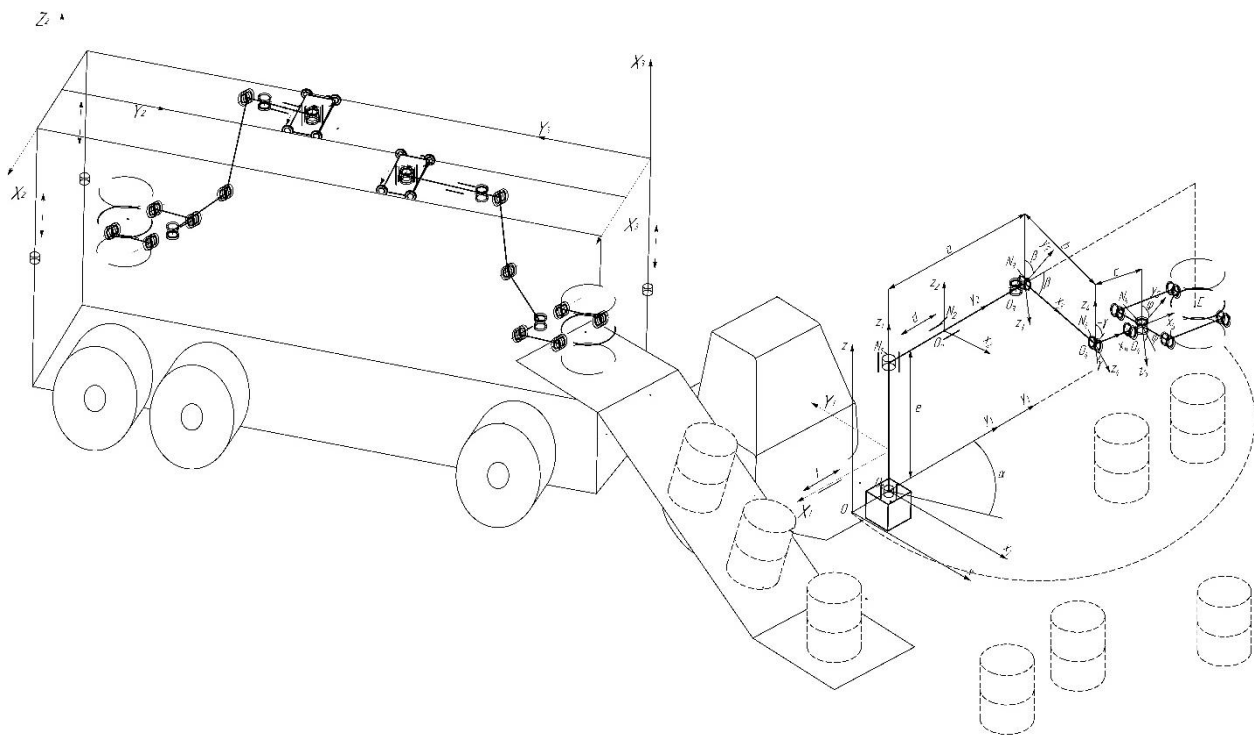


Рис. 3. Кинематическая схема погрузчика с ломаным шасси и тремя манипуляторами

Позиционирование грузозахватного органа определяется матрицами перехода $M_{i,i}$ от подвижной системы к неподвижной, которые описывают положение i звена относительно $(i-1)$.

$$M_{05} = M_{01} \cdot M_{12} \cdot M_{23} \cdot M_{34} \cdot M_{45}. \quad (2)$$

Переход от старого базиса к новому в линейной системе осуществляется с помощью единичных векторов i и $(i-1)$.

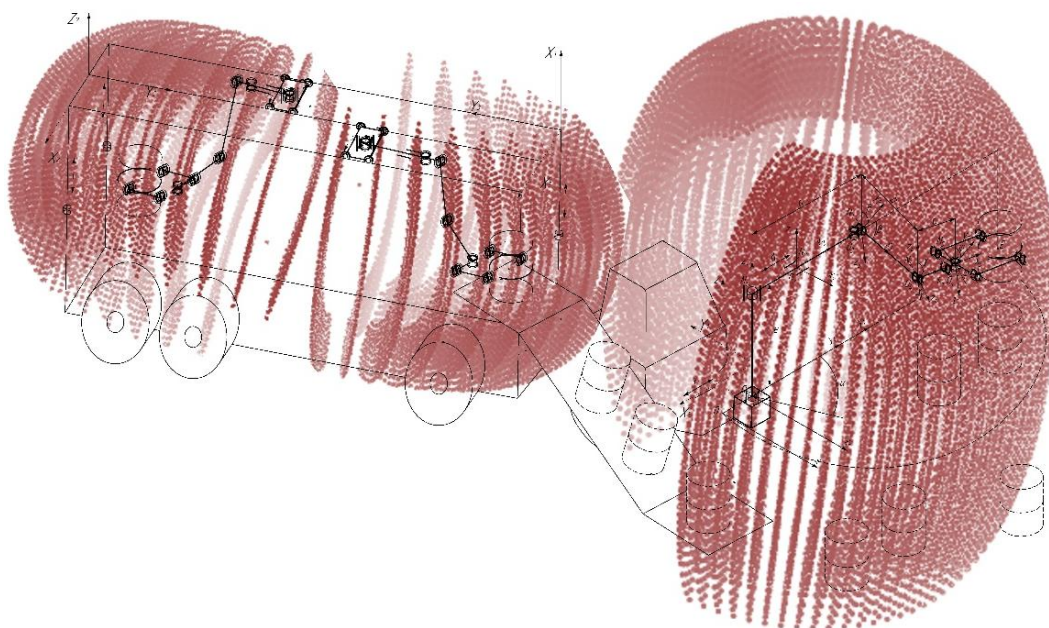


Рис. 4. Зона обслуживания погрузчика с ломаным шасси и тремя манипуляторами

$$\begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \\ z_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_{i-1}, x_i) & \cos(x_{i-1}, y_i) & \cos(x_{i-1}, z_i) \\ \cos(y_{i-1}, x_i) & \cos(y_{i-1}, y_i) & \cos(y_{i-1}, z_i) \\ \cos(z_{i-1}, x_i) & \cos(z_{i-1}, y_i) & \cos(z_{i-1}, z_i) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i-1,i} \\ y_{i-1,i} \\ z_{i-1,i} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $x_i = [x_i, y_i, z_i]$ – единичный вектор в i системе координат; $x_{i-1,i} = [x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}]$ – вектор направляющих косинусов.

Рабочая зона обслуживания манипулятора погрузчика строится, за счет изменения

исполнительных звеньев и углов поворота $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$.

При расчетах теоретически возможной зоны обслуживания получены следующие уравнения связи

$$\begin{cases} x_E = \sin \alpha (d - a + \Delta y_2) + c(\sin \beta \sin \alpha^2 + \cos \gamma \cos \beta \sin \alpha) - b \cos \beta \sin \alpha \\ y_E = f - \cos \alpha (d - a + \Delta y_2) + \cos \alpha (d + \Delta y_2) - c(\cos \alpha \sin \beta \sin \alpha + \cos \gamma \cos \beta \cos \alpha) + b \cos \beta \cos \alpha \\ z_E = \Delta z_1 + e - c(\cos \gamma \sin \beta - \cos \beta \sin \alpha + b \sin \beta \end{cases}, \quad (4)$$

Перемещение точки E выходного звена грузозахватного органа находится в следующих ограничениях: $x = -2002$ мм, $y = -1748$ мм, $z = -748.528$ мм, $x = 2002$ мм, $y = 2320$ мм, $z = 1220$ мм.

В результате работы представлена 3d-модель погрузочно-транспортного агрегата, рассмотрен технологический процесс погрузочно-транспортных операций бочек с нефтью в четыре этапа. Рассмотрены геометрические и структурные параметры погрузчика, определена степень свободы механизма. Проведено кинематическое исследование манипуляторов погрузчика. Сформированы зоны обслуживания погрузчика и представлены ограничения

точки E выходного звена грузозахватного органа в декартовой системе координат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов, А. В. Общий подход к решению обратной задачи кинематики для манипулятора последовательной структуры с помощью конечного поворота и смещения / А. В. Данилов, А. Н. Кропотов, О. В. Трифонов. – Москва : ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2018. – 15 с. : ил., табл. : 21 см.
2. Шапров, М. Н. Кинематический анализ механизма подъема контейнеров на погрузочно-транспортном агрегате / М. Н. Шапров, И. С. Мартынов, М. А. Садовников, А. В. Седов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 2 (54). – С. 346–354.

3. Галдин, Н. С. Особенности проектирования основных механизмов мостовых кранов / Н. С. Галдин, С. В. Курбацкая, О. В. Курбацкая // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 5 (27). – С. 21–25.

4. Макеева, Е. И. Повышение эффективности эксплуатации погрузочной машины 2пнб-2 путем внедрения автоматизированного управления процессов подачи / Е. И. Макеева, М. Д. Мирославская // Наука и творчество: вклад молодежи : сб. матер. всерос. молодежной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Махачкала, 2020. – С. 238–241.

5. Nikolaev, M. E., Nesmianov I. A., Zaharov E. N. Defi-

nition of service area of agricultural loading robot with manipulator of parallel-serial structure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 747(1). doi: 10.1088/1757-899X/747/1/012125.

6. Zhoga, V. V., Skakunov V. N., Terekhov S. E., Belikov V. A. The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers International Review of Mechanical Engineering. 2017. Т. 11. № 5. pp.337-342.

7. Nikolaev, M., Nesmianov, I., Zhoga, V., Ivanov, A. Justification Parameters and Planning Capture Trajectories for Robotic Loading and Transport // Smart Innovation, Systems and Technologies 2022. 245. doi: 10.1007/978-981-16-3349-2_20

УДК 67.05

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-89-92

Г. Н. Овчинников, А. Д. Жохов, А. С. Панюлайтис, А. М. Макаров

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СИСТЕМЫ
ОТ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ГИБКИХ КОНТЕЙНЕРОВ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСКРЫТИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ov4innikov.gleb@yandex.ru, vlad.zhohov@yandex.ru,
app@vstu.ru, amm34@mail.ru

Произведено экспериментальное и аналитическое исследование зависимости производительности насосной системы вакуумного захватного устройства от воздухопроницаемости гибких контейнеров для осуществления их предварительного раскрытия во время процесса фасовки сыпучим материалом. Представлен порядок проведения экспериментального исследования, а также аналитические расчеты основных показателей, обеспечивающих успешное раскрытие гибкого контейнера.

Ключевые слова: воздухопроницаемость, гибкий контейнер, фасовка, предварительное раскрытие

G. N. Ovchinnikov, A. D. Zhokhov, A. S. Panyulaitis, A. M. Makarov

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE
OF THE PUMPING SYSTEM PERFORMANCE ON THE AIR PERMEABILITY
OF FLEXIBLE CONTAINERS DURING THE PRE-OPENING PROCESS**

Volgograd State Technical University

An experimental and analytical study of the dependence of the performance of the pumping system of the vacuum gripper device on the air permeability of flexible containers for their preliminary opening during the bulk packing process has been carried out. The procedure for conducting an experimental study is presented, as well as analytical calculations of the main indicators that ensure the successful opening of a flexible container.

Keywords: breathability, flexible container, packing, pre-opening

Гибкие контейнеры из различных материалов – сложная с точки зрения автоматического манипулирования, мягкая тара непостоянной формы.

Для рассмотрения процесса манипулирования гибкими контейнерами нами использовалось устройство для автоматического манипулирования гибкими контейнерами, описание и принцип работы которого представлен в патенте [1]. Исследуемое устройство включает в

себя два функционально важных узла: узел предварительного раскрытия, в который входят подвижный и неподвижные вакуумные захваты, и механический захват. Можно утверждать, что наиболее сложным и требующим особого внимания этапом является предварительное раскрытие. Во время этого процесса контейнер должен быть аккуратно раскрыт, чтобы обеспечить правильное позиционирование и удобный доступ к его содержимому.

Для проведения эксперимента по оценке воздухопроницаемости гибких полипропиленовых контейнеров была изменена существующая установка, описанная в [2], путем подключения к плате микроконтроллера специального измерительного прибора – порозиметра. Данная установка, позволит проводить эксперименты в автоматизированном режиме. Структурная схема экспериментальной установки с автоматической системой управления представлена на рис. 1.

Порядок проведения эксперимента аналогичен указанному в работе [2]. Результаты измерения передавались на ЭВМ и обрабатывались. После чего формировалась таблица с результатами всех измерений.

Экспериментальные измерения проводились над пятью образцами полипропиленовых мешков, рассчитанных на 50 кг. Для исключения ошибочных измерений для каждого образца было проведено по пять измерений. Результаты измерений представлены в таблице.

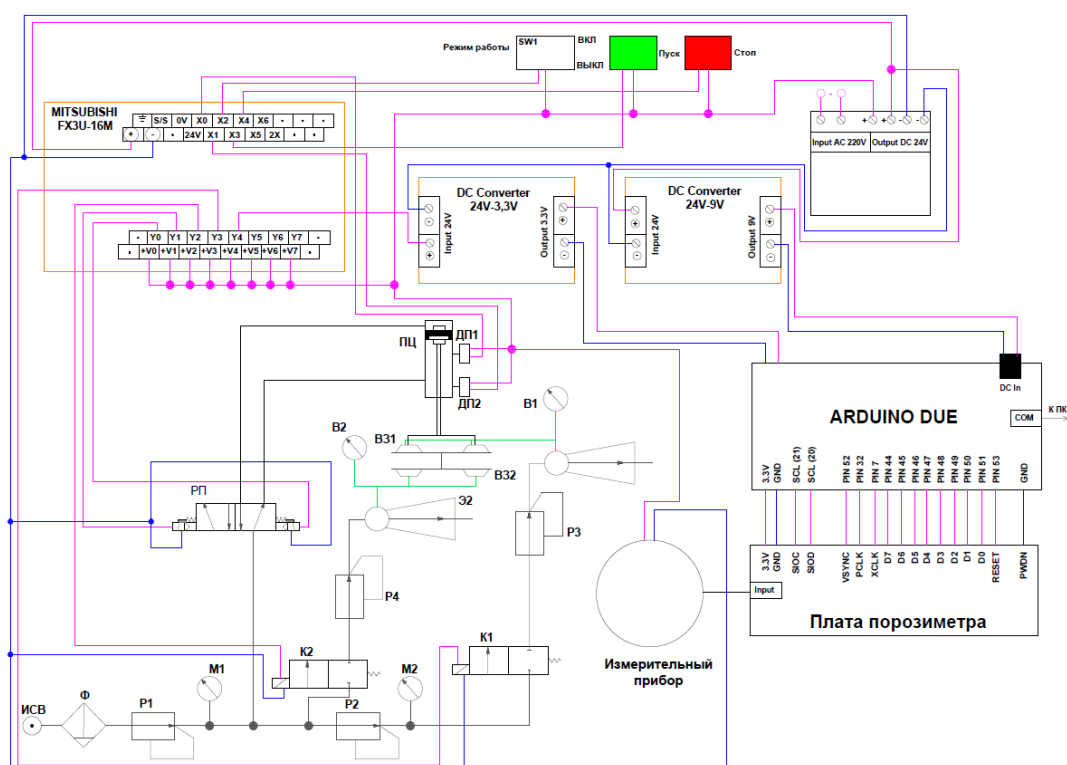


Рис. 1. Структурная схема лабораторной установки:

ИСВ – источник сжатого воздуха, Ф – фильтр, Р – регулятор давления, М – манометр, РП – электропневмораспределитель, ПЦ – пневмоцилиндр, К – клапан, Э – эжектор, В – вакуумметр, ВЗ – вакуумное захватное устройство, ДП – датчик положения, Измерительный прибор – порозиметр

Результаты проведения эксперимента

№ образца	1					2					3					4					5				
№ экс-та	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Рез. измер, л/ч	151	147	153	150	152	145	143	142	143	144	161	154	158	157	156	148	150	151	152	151	152	152	154	150	151
Ср. знач., л/ч	150,6					143,4					157,2					150,4					151,8				

По результатам проведенного эксперимента был составлен график, который представлен на рис. 2.

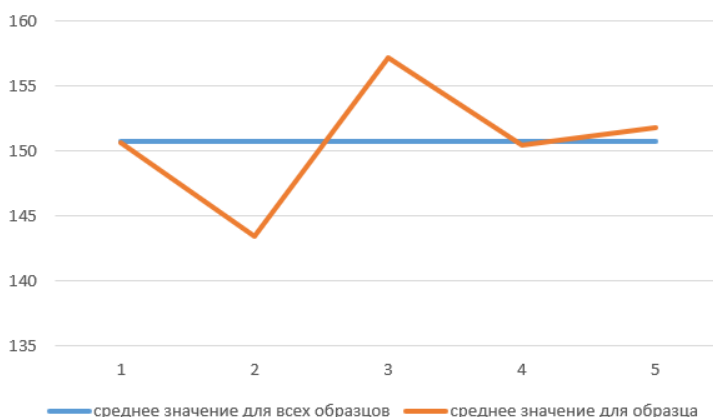


Рис. 2. График результатов измерений

Результаты исследования показали, что средняя воздухопроницаемость полипропиленовых мешков равно 150,7 л/ч (для дальнейших расчетов примем приближенное к среднему $Q = 150$ л/ч).

Далее представлен аналитический расчет основных параметров процесса предварительного раскрытия гибкого контейнера.

Сила сцепления вакуумных присосок определяется по формуле:

$$F_{\text{сц}} = S \cdot P, \quad (1)$$

где $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления, Н; S – площадь контакта, м²; P – давление вакуума, Па.

Сила сцепления должна быть равной или превышать по значению силу F , которая требуется для раскрытия контейнера. Опираясь на результаты исследований, изложенных в [3], примем значение $F_{\text{сц}} = 5$ Н. Диаметр одной присоски примем равным 20 мм (0,02 м), а их количество равным 4, исходя из компонентов исследуемого устройства.

Площадь контакта присоски найдем по формуле:

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot n, \quad (2)$$

где S – площадь контакта, м²; d – диаметр присоски, м; n – количество присосок.

Подставляя значения в уравнение (2), получим:

$$S = 3,14 \cdot 0,02^2 / 4 \cdot 4 = 0,001256 \text{ м}^2.$$

Выразим и определим из формулы (1) давление вакуума, которое будет создано внутри присоски с помощью вакуумного насоса:

$$P = \frac{5}{0,001256} = 3980 \text{ Па}.$$

Для того, чтобы в дальнейшем было проще выбрать насос, требуется перевести давление вакуума в системе в объем воздуха, который необходимо вывести из системы. Для этого воспользуемся законом Бойля-Мариотта [4], который описывает зависимость между давлением и объемом газа при постоянной температуре. Выведем из равенства параметр V_2 – конечный объем воздуха в системе:

$$V_2 = P_1 \cdot \frac{V_1}{P_2}, \quad (3)$$

Начальный объем воздуха V_1 , можно рассчитать, используя формулу объема цилиндра. За диаметр цилиндра примем внутренний диаметр трубки, соединяющей насосное устройство с присосками (0,006 м), за высоту цилиндра длину трубки (2 м). Тогда получим:

$$V_1 = \pi \cdot \frac{0,006^2}{4} \cdot 2 = 0,00005652 \text{ м}^3 = 0,05652 \text{ л}.$$

Конечное давление в системе P_2 найдем как разницу начального давления P_1 ($P_{\text{атм}} = 101$ кПа) и вакуумного давления в системе P :

$$P_2 = 101 - 3,98 = 97,02 \text{ кПа}.$$

Теперь подставим все значения в формулу (3):

$$V_2 = \frac{101 \cdot 0,00005652}{97,02} = 0,00005884 \text{ м}^3 = 0,05884 \text{ л}.$$

Для определения объема воздуха, который должен выйти из системы, требуется вычесть из конечного объема воздуха, начальный:

$$V = V_2 - V_1 = 0,05884 - 0,05652 = 0,00232 \text{ л}.$$

Для нахождения производительности насосного оборудования, необходимо принять,

что для нормальной работы системы время, за которое должно создаваться заданное вакуумное давление, не должно быть больше 1 секунды. В таком случае, производительность насосного оборудования можно рассчитать по формуле:

$$Q_n = \frac{V}{t}, \quad (4)$$

где Q_n – требуемая производительность насосного оборудования; V – объем воздуха, м^3 ; t – время выхода на заданное вакуумное давление, с.

$$Q_n = \frac{0,00232}{1} = 0,00232 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Таким образом, выяснилось, какой объем воздуха необходимо откачать из системы, чтобы создать требуемое давление вакуума для раскрытия полипропиленового мешка. Но в приведенных расчетах не учитываются потери на воздухопроницаемость полипропиленового мешка.

$$Q_g = 150 \cdot 0,001256 \cdot 3,98 = 0,7498 \frac{\text{л}}{\text{ч}} \approx 0,75 \frac{\text{л}}{\text{ч}} \approx 0,00021 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Исходя из полученных значений, учитывая потери на воздухопроницаемость, можно найти требуемую производительность насоса, взяв

Один из способов приближенного расчета воздухопроницаемости мешка – использование закона Дарси [4]:

$$Q_g = \frac{S \cdot \Delta P \cdot k}{\mu}, \quad (5)$$

где Q_g – объемный расход воздуха мешок, $\text{м}^3/\text{ч}$; S – площадь поверхности мешка, м^2 ; ΔP – разность давлений по обе стороны мешка, Па; k – коэффициент проницаемости (пористости) материала мешка, μ – вязкость воздуха, Па·с.

Произведем перерасчет для нашей системы. Так как в нашей системе площадь контакта $S = 0,001256 \text{ м}^2$, а не 1 м^2 и разница давлений $\Delta P = 3,98 \text{ кПа}$, а не 1 кПа , то для нашей системы значение воздухопроницаемости получим, умножив экспериментальное значение на действительные значения площади контакта и разницы давлений:

сумму производительности насоса, не учитывая потери, и значение потерь на воздухопроницаемость:

$$Q = Q_n + Q_g \quad (6)$$

$$Q = 0,00232 + 0,00021 = 0,00253 \frac{\text{л}}{\text{с}} = 0,152 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

В результате проведения экспериментальных измерений на лабораторной установке получено фактическое значение воздухопроницаемости, которое в дальнейшем было использовано для расчета производительности насоса. Таким образом, мы выяснили, что необходимая и достаточная производительность насоса $Q = 0,152 \text{ л/мин}$.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке систем автоматизации процесса фасовки сыпучих материалов в гибкую тару.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 189814 Российская Федерация, МПК В65В 7/02, В65В 5/00. Устройство для автоматического манипулирования гибкими контейнерами / А. В. Ваганов,

- А. Е. Жуликов, А. М. Макаров ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – № 2018137357 ; заявл. 22.10.2018 ; опубл. 04.06.2019.

2. Макаров, А. М. Структурно-параметрический анализ и синтез мехатронных систем автоматической расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару : монография / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев, О. В. Мушкин ; ВолгГТУ. – Волгоград; Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 304 с.

3. Расчет и исследование вакуумного захватного устройства для захвата и удержания гибкого контейнера / Г. Н. Овчинников, А. С. Панюлайтис, А. М. Макаров, И. В. Волков // Известия ВолгГТУ. – 2022. № 3 (262). – С. 65–69.

4. Пузин, Ю. И. Учебно-методическое пособие по решению практических задач / Ю. И. Пузин // Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2005. – С. 3–4.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-93-95

*А. П. Порхун, В. Г. Барабанов, Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко***ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАТФОРМЫ
С РАСШИРЕННОЙ ПЛОЩАДЬЮ ПЕЧАТИ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРОВ,
РАБОТАЮЩИХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**E-mail: sa.porkhun30@gmail.com, vbarabanov@vstu.ru, zhenya.dyachenko.1999@gmail.com,
kozenkomichael1999@yandex.ru

В работе рассматривается процесс по разработке высокотемпературной автоматизированной платформы для 3D-принтеров, работающих по технологии моделирования методом послойного наплавления, с целью повышения качества продукции.

Ключевые слова: высокотемпературная автоматизированная платформа, 3D-принтеры, послойное наплавление

*A. P. Porkhun, V. G. Barabanov, E. A. Dyachenko, M. Yu. Kozenko***DESIGNING A HIGH TEMPERATURE PLATFORM WITH AN
EXTENDED PRINTING AREA FOR 3D PRINTERS OPERATING
USING LAYER-BY-LAYER FUSION TECHNOLOGY****Volgograd State Technical University**

The paper discusses the process of developing a high-temperature automated platform for 3D printers using layer-by-layer deposition modeling technology in order to improve product quality.

Keywords: high-temperature automated platform, 3D printers, layer-by-layer deposition

В наше время технология 3D-печати развивается с высокой скоростью. Аддитивные методы производства постоянно совершенствуются, стремясь к увеличению уровня автоматизации благодаря применению передовых технологий. Однако, существуют и определенные трудности, среди которых можно выделить проблемы с конструкцией рабочей платформы с большой печатной областью, особенно заметные при работе на высоких температурах. Эта проблема подчеркивает важность исследований в данной области для улучшения качества и надежности 3D-печати [1].

Исследование направлено на разработку автоматизированной высокотемпературной платформы. Основная задача – снижение общей деформации платформы при создании более прочных изделий, работая при повышенных температурах. Это позволит повысить точность и качество печати, а также расширить круг используемых материалов, такими как РЕЕК, РЕИ, и другими, которые требуют более высоких температур для стабильной печати.

Рассмотрим несколько существующих конструкций высокотемпературных платформ.

Стекланные и керамические платформы ис-

пользуют при производстве своих устройств компании Formlabs, Carbon, Ultimaker [2]. Пример конструкции одной из таких платформ представлен на рис. 1, а. Такие платформы обладают высокой термической стабильностью и позволяют поддерживать высокие температуры. Тем не менее, они обладают определенной хрупкостью и требуют бережного обращения, особенно при большой площади стола.

Металлические платформы с подогревом используют при производстве своих устройств LulzBot, Raise3D [3], Formlabs (рис. 1, б). Металлические платформы, как правило, выполнены из алюминия или нержавеющей стали и оснащены системой подогрева. Это позволяет не только достигать высоких температур, но и обеспечивать равномерное распределение тепла по поверхности платформы.

Одним из наиболее простых решений проблемы с статической и термической деформацией является увеличение толщины материала стола. Но для платформы с габаритами 600×600 мм для того, чтобы сохранить плоскостность в диапазоне 0,4 мм, толщина металла может быть 60–70 мм, что намного увеличивает цену и массу 3D-принтера.

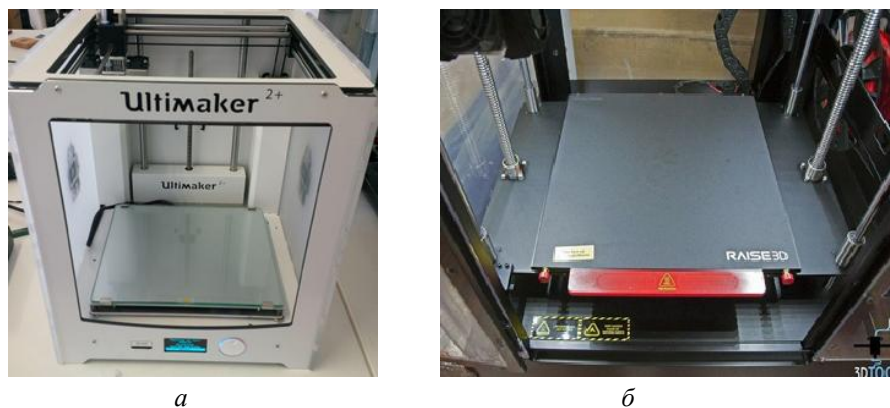


Рис. 1. Примеры вариантов столов:
а – стеклянный; б – металлический

Авторами предложена конструкция платформы для высокотемпературных принтеров, представленная на рис. 2.

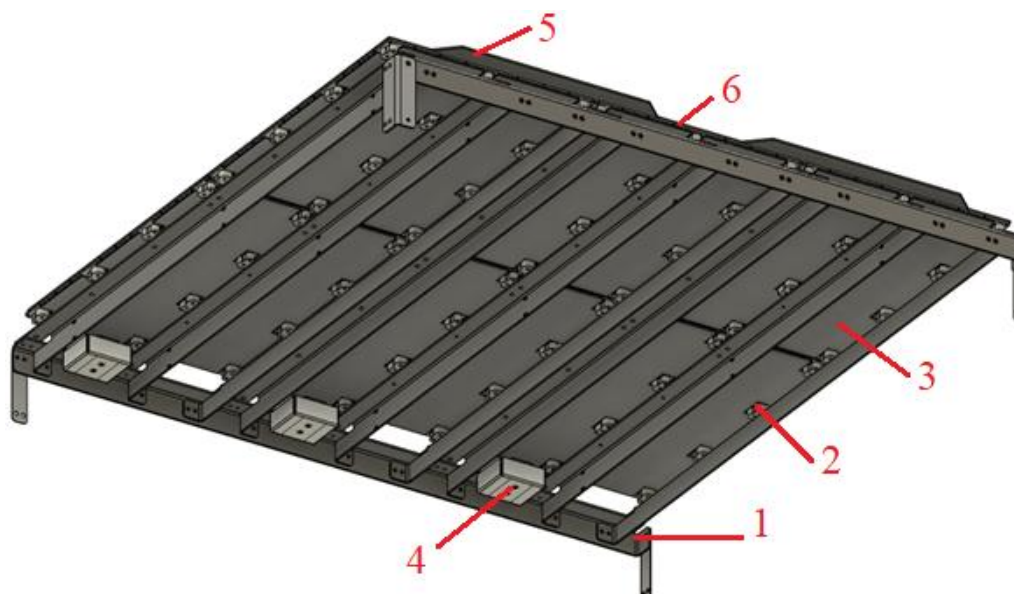


Рис. 2. Компоновка стола

В ней использованы следующие технические решения:

1 – для рамы использована нержавеющую сталь *aisi* 430 (по стандартам ISO) [4];

2 и 6 – крепление магнитов и металлическая пластина стола сделаны из дюралюминия Д16 [5];

3 – в качестве нагревателя используется силиконовый нагреватель на 500 Вт и 220 В. Он выполнен под заказ и повторяет форму нагревательной платформы со всеми вырезами;

4 – защита электрической разводки выполнена в виде керамической колодки и листовой детали;

5 – подложка выполнена из пластины толщиной 2 мм из нержавеющей сталь *aisi* 430.

Термическую деформацию необходимо минимизировать. Для этого необходимо провести несколько испытаний для нахождения оптимального способа уменьшения температурной деформации.

Было проведено испытание пластины, жестко закрепленной в 12 точках. Деформация составила 0,192 мм. Следующим стало испытание одной шестой пластины с жестким креплением по углам. Максимальным отклонением стало 0,214 мм.

Был разработан узор для поверхности пластины, который позволяет минимизировать деформации по оси Z, которая максимально критична для печати, ведь неровности и перепады высот стола могут привести к проблемам с ад-

гезией первого слоя, что влияет на качество и прочность всей печати. Результатом стало отклонение на 0,061 мм, что в 3 раза меньше, чем без узора.

Было проведено испытание с пластиной с жестким закреплением по 12 точкам и разработанным узором. Максимальное отклонение составило 0,065 мм, что в 3 раза меньше, чем без узора.

Узор был модернизирован путем уменьшения его в два раза, что позволило увеличить его площадь, а следовательно, и меньшую термическую деформацию: 0,049 против 0,192 для пластины без узора (рис. 3).

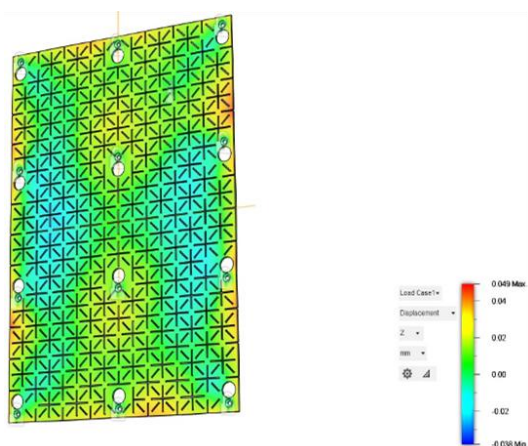


Рис. 3. Расчеты термической деформации пластины стола платформы

Помимо деформации пластины греется стол с рамой, поэтому их деформацию тоже стоит

учитывать. Для минимизации деформации были изготовлены демпферы для рамы стола, которые расположены так, чтобы при нагреве платформы плоскостность по оси Z оставалась минимальной.

Электрическая схема подключения нагревательной платформы представлена на рис. 4.

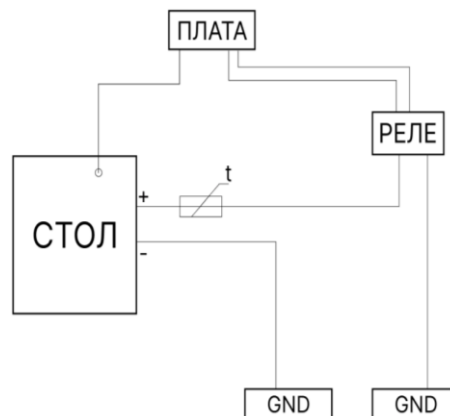


Рис. 4. Электрическая схема подключения нагревательного стола

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FDM-печать // top3dshop: офиц. сайт. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/metod-poslojnogo-naplavleniya.html>
2. Конфигурации 3D-принтеров // Ultimaker : офиц. сайт. – URL: <https://ultimaker.com/>
3. Конфигурации 3D-принтеров // Raise3d : офиц. сайт. – URL: <https://raise3d.ru/>
4. Сталь AISI 430 // inoxtrade.ru : офиц. сайт. – URL: <https://inoxtrade.ru/info/commoninfo/item100590/aisi-430-stal/>
5. Дюралюминий Д16 // cuprum-metal : офиц. сайт. – URL: <https://cuprum-metall.ru/informatsiya/alyuminiy/splav-d16/>

Ответственный за выпуск Жанна Сергеевна **ТИХОНОВА**

Оригинал-макет и электронная версия издания
подготовлены редакционно-издательским отделом
Издательства ВолгГТУ

Корректura **Н. Н. Кваши**
Компьютерная верстка: **Е. В. Макарова**

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00
E-mail: ianovakov@vstu.ru

Темплан 2025 г. Поз. № 1ж. Дата выхода в свет 27.01.2025 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 11,28.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 13.

Отпечатано в типографии Издательства ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.