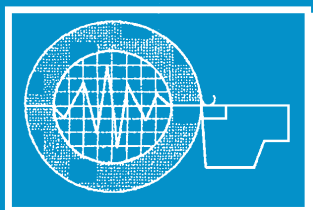


ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского
государственного
технического
университета

ISSN 1990-5297



Серия
Прогрессивные технологии
в машиностроении

16+

№ 8 (291)
2024

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

№ 8 (291)
Август
2024

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», 2024

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

№ 8 (291) August 2024

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

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| Амхадов Р. М. 13 | Козенко М. Ю. 47, 58 |
| Багайсков Ю. С. 18, 31 | Кузнецов С. И. 7 |
| Бакулин И. А. 7 | Кухтик М. П. 66 |
| Барабанов В. Г. 45, 58 | Макаров А. М. 43, 47 |
| Бордаков Н. Р. 34 | Малинин П. В. 21 |
| Бочкарев П. Ю. 21 | Нгуен В. Н. 55 |
| Ваганов А. В. 43 | Никулина В. А. 31 |
| Васильева Ю. В. 45 | Носенко В. А. 34 |
| Галкина А. А. 66 | Панин А. С. 7 |
| Дроботов А. В. 51, 55 | Порхун А. П. 58 |
| Дуденков А. Ю. 61 | Поступаева С. Г. 61 |
| Дьяченко Е. А. 47, 58 | Рогачев А. В. 13 |
| Емельяненко А. А. 11, 37 | Смус А. А. 66 |
| Жданов А. А. 13 | Фролов Е. М. 13 |
| Захаров А. С. 18 | Шандыбина И. М. 66 |
| Зими́на Ю. А. 11 | Шатеева А. В. 37 |
| Золотых Н. А. 47 | Шемелюнас С. С. 43 |
| Исаева А. А. 34 | Яковлев А. А. 61 |
| Кимбор Д. В. 51 | Ярьсько С. И. 7 |

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Бакулин И. А., Кузнецов С. И., Яресько С. И., Панин А. С.

Влияние лазерной ударной обработки на износостойкость
алюминиевого сплава АМг6..... 7

Емельяненко А. А., Зимина Ю. А.

Требования нормативной документации к эргономическому обеспечению
переносных пультовых приборов: анализ и опыт применения..... 11

Жданов А. А., Фролов Е. М., Рогачев А. В., Амхадов Р. М.

Оценка влияния смазочно-охлаждающих технических сред
на стойкость и шероховатость поверхности при продольном точении..... 13

Захаров А. С., Багайсков Ю. С.

Исследование технологических методов повышения прочности
поверхности цилиндров блоков ДВС из алюминиевых сплавов..... 18

Малинин П. В., Бочкарев П. Ю.

Снижение трудоемкости наладки операций
проходного бесцентрового шлифования..... 21

Никулина В. А., Багайсков Ю. С.

Разработка рациональной технологической схемы
соединения каркасных узлов низкочастотного автобуса..... 31

Носенко В. А., Исаева А. А., Бордаков Н. Р.

Применение комплексного импрегнирования абразивного инструмента
для повышения его эффективности..... 34

Шатеева А. В., Емельяненко А. А.

Предпосылки применения 3D-MID-технологий
для обеспечения эргономичности заушных слуховых аппаратов..... 37

Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Баганов А. В., Шемелюнас С. С., Макаров А. М.

Исследование повышения производительности изготовления изделий
при 3D-печати многоспелым экструдером..... 43

Васильева Ю. В., Барабанов В. Г.

Повышение эффективности управления освещением улиц города
путем модернизации автоматизированной системы
управления наружным освещением..... 45

Золотых Н. А., Козенко М. Ю., Дьяченко Е. А., Макаров А. М.

Повышение точности FDM 3D-печати путем
автоматической калибровки рабочей платформы 3D-принтера..... 47

Кимбор Д. В., Дроботов А. В.

Оптимизация конструкции малогабаритного центробежного насоса
с учетом возможностей аддитивных технологий..... 51

<i>Нгуен В. Н., Дроботов А. В.</i> Автоматический способ контроля износа сопла FDM 3D-принтеров.....	55
<i>Порхун А. П., Барабанов В. Г., Козенко М. Ю., Дьяченко Е. А.</i> Повышение скорости печати 3D-принтера A4PRO путем модернизации системы управления.....	58
<i>Поступаева С. Г., Дуденков А. Ю., Яковлев А. А.</i> Разработка модели физического принципа действия системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя.....	61
<i>Смус А. А., Галкина А. А., Шандыбина И. М., Кухтик М. П.</i> Разработка линии фасовки и упаковки жидких продуктов с автоматической подачей тары.....	66
К сведению авторов.....	71

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.373.826: 621.787+620.178.16
DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-7-10

И. А. Бакулин, С. И. Кузнецов, С. И. Ярьско, А. С. Панин

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг6

Самарский филиал ФГБУН Физического института им. П. Н. Лебедева РАН

E-mail: bi205@fian.smr.ru; kuznetsov@fian.smr.ru; yarsi54@gmail.com; anton@fian.smr.ru

Представлены результаты исследований структуры и износных характеристик алюминиевого деформируемого сплава АМг6 после лазерной ударной обработки. Методами оптической и растровой электронной микроскопии не выявлено заметных отличий между микроструктурой необработанных и обработанных образцов. Показано, что сжимающие остаточные напряжения наблюдаются на глубине до 1,5 мм и в максимуме достигают значения 240 МПа, а износостойкость сплава в результате лазерного наклепа увеличивается на 20 %.

Ключевые слова: износостойкость, алюминиевый сплав, лазерная ударная обработка, сжимающие остаточные напряжения

I. A. Bakulin, S. I. Kuznetsov, S. I. Yaresko, A. S. Panin

THE EFFECT OF LASER SHOCK PEENING ON THE WEAR RESISTANCE OF THE ALUMINUM ALLOY AMg6

Samara Branch of P. N. Lebedev Physical Institute

The results of studies of the structure and wear characteristics of the wrought aluminum alloy AMg6 after laser shock peening are presented. Optical and scanning electron microscopy revealed no noticeable differences between the microstructure of untreated and processed samples. It is shown that compressive residual stresses are observed at a depth of up to 1.5 mm and reach a maximum value of 240 MPa. After laser shock peening the wear resistance of the alloy increases by 20 %.

Keywords: wear resistance, aluminum alloy, laser shock peening, compressive residual stresses

Метод лазерного ударного упрочнения (или лазерный наклеп) является одним из перспективных способов повышения эксплуатационных характеристик изделий машиностроения. Суть технологии лазерного наклепа заключается в воздействии коротким лазерным импульсом большой плотности мощности на обрабатываемую поверхность через прозрачный для излучения слой (вода, стекло и т. д.). Под воздействием излучения образуется приповерхностная плазма, которая и формирует направленную ударную волну. Ударная волна создает в поверхностном слое обрабатываемого материала, как и при механической ударной обработке, напряжения сжатия. В силу этого, традиционно метод лазерной ударной обработки

(ЛЮО) используется для увеличения усталостной прочности, повышения стойкости к износу при контактной усталости, повышения коррозионной стойкости и износостойкости деталей машиностроительного производства.

В отличие от механического наклепа, фронт ударной волны после ЛЮО плоский, рельеф поверхности после обработки изменяется минимально, а глубина упрочнения может достигать 2 мм. Стойкость изделий к циклическим нагрузкам после такой обработки может увеличиться от 30 до 200 % и более. ЛЮО имеет большие преимущества перед методами механического наклепа сталей и сплавов, например, ультразвуковой или дробеструйной обработками. Так, глубина залегания остаточных напря-

жений сжатия после ЛУО может в 4–5 раз превышать таковую при дробеструйной обработке [1]. При ЛУО возможна обработка труднодоступных участков изделий: кромок, углублений, пазов и т. д. Одним из достоинств ЛУО является также возможность упрочнения изделий сложной формы и обработки по заданному контуру. Процесс ЛУО может быть интегрирован в производственную линию с высокой степенью автоматизации.

Лазерному ударному упрочнению подвергаются, прежде всего, изделия из материалов, используемых в авиационной промышленности: алюминиевые, титановые и никелевые сплавы, стали.

Среди указанных материалов отметим алюминиевые сплавы, которые являются перспективным триботехническим материалом, поскольку обладают рядом полезных функциональных свойств. Однако номенклатура антифрикционных алюминиевых сплавов сильно ограничена [2] по причине склонности алюминия к схватыванию при сухом трении в паре со сталью. Как следствие, материал на участках схватывания вырывается из основы и переносится на сопряженную поверхность, образуя там наросты. Большое их количество может привести к ускоренному износу, и, в конечном итоге, к заеданию узла трения и поломке изделия.

Цель настоящей работы – исследование трибологических свойств и напряженного состояния алюминиевого деформируемого сплава АМг6 после лазерной ударной обработки.

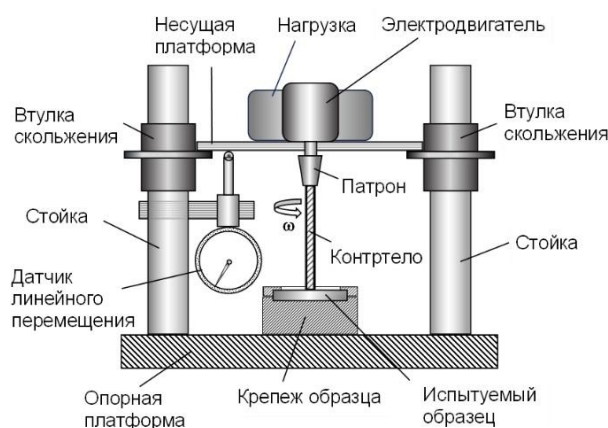


Рис. 1. Блок-схема лабораторной установки для испытаний на износ

При испытаниях в качестве контртела – «пальца» использовался полый цилиндр диаметром 10 мм с толщиной стенки 1 мм, изготовленный из закаленной стали 40Х. Вращение

В экспериментах использовались нарезанные из стержня поликристаллического промышленного сплава АМг6 образцы толщиной 6 мм, диаметром 25 мм до и после ЛУО без поглощающего покрытия излучением с длительностью импульсов 10 нс, плотностью мощности 4,4 ГВт/см² и плотностью импульсов 2000 имп/см². Выбор сплава АМг6 в качестве объекта исследования обусловлен его широким применением в технике, а также отсутствием работ по ЛУО такого сплава и анализу его износных характеристик после лазерного наклепа.

Для изучения микроструктуры использовались оптический микроскоп Neophot 30, сканирующий электронный микроскоп Jeol-6390А с энергодисперсионной приставкой рентгеноспектрального микроанализа Jeol LED-2300. Микротвердость материалов измерялась с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 50 г. Рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 с использованием CuK_α -излучения. Распределение остаточных напряжений σ по глубине получено рентгеновским методом $\sin^2\psi$ и послойной электролитической полировкой. Остаточные напряжения в исходном сплаве АМг6 близки к нулю.

Испытания на трение скольжения проводились по схеме «диск–палец» на разработанной лабораторной установке, позволяющей проводить измерения износных характеристик по глубине (рис. 1).

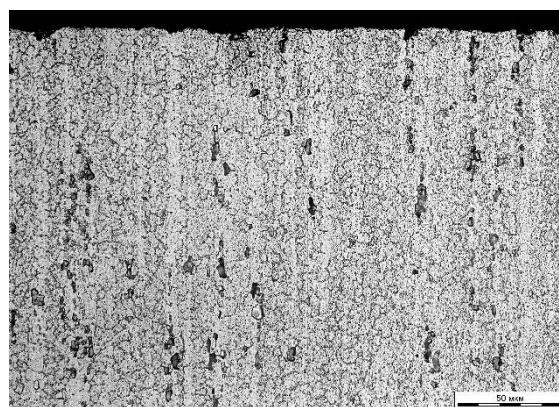


Рис. 2. Микроструктура сплава АМг6 в исходном состоянии

цилиндра со скоростью 500 об/мин осуществлялось без смазывающей жидкости по плоскости образца. Во всех случаях давление в зоне контакта было равно 2,8 МПа. В ходе испыта-

ний с помощью пирометра НТ-819 проводился замер температуры испытываемой пары трения, которая не превышала 45 °С.

В исходном состоянии в исследуемом материале наблюдаются выраженная полосчатая структура расположения зерен, а также строчки интерметаллидов и других нерастворимых соединений, выстроенных вдоль осевого направления исходного прутка. Эти соединения имеют достаточно сложный состав и включают, кроме Al, чаще всего Mg, Mn, Fe либо Mg, Mn, Si, Fe. Зерна исходного сплава АМг6 размерами 3–10 мкм имеют округлую форму (рис. 2). Рентгеноструктурный анализ показывает преимущественную ориентацию параллельно обрабатываемой поверхности кристаллографических плоскостей {111} и {100}, которая остается почти неизменной после ЛУО. Увеличение микротвердости после ЛУО с максимумом на поверхности до 100 HV_{0,05} (микротвердость исходного сплава 80 HV_{0,05}) однозначно фиксируется до глубины 0,8 мм.

В результате взаимодействия тонкого слоя расплавленного материала, образующегося на поверхности при ЛУО, с активным кислородом приповерхностной плазмы и парами воды формируется тонкая окисная пленка, содержащая, согласно элементному анализу, до 30–40 ат.%



Рис. 3. Сечение канавки износа образцов сплава АМг6: а – после ЛУО; б – без ЛУО

Относительный прирост износостойкости сплава АМг6, согласно экспериментальным результатам при указанных выше параметрах ЛУО, составляет $\varepsilon_{\text{и}} \approx 21\%$. Полученные результаты коррелируют с данными износных испытаний, выполненных по схеме «валик – плоскость» алюминиевого деформируемого

кислорода [3]. Наряду с окисной пленкой растровая электронная микроскопия показывает наличие рекристаллизованного слоя, образующегося в результате сильной пластической деформации. Общая толщина оксидного и рекристаллизованного слоев в зависимости от параметров обработки может достигать 70 мкм. Наличие данных структур на поверхности позволяет предположить, что на стадии приработки при трении будет снижена вероятность процесса схватывания и образования наростов, что в конечном итоге окажет влияние на износостойкость сплава в целом.

Оценка линейного износа при испытаниях проводилась с помощью микрометра часового типа и после испытаний на поперечном шлифе с помощью оптического микроскопа (рис. 3). Истирающую способность поверхности определяли по зависимости приращения линейного износа от интервала пути трения. В качестве оценочного показателя износостойкости был использован безразмерный показатель износостойкости И, рассчитываемый по формуле [4]:

$$И = \frac{\Delta L}{\Delta h},$$

где ΔL – интервал пути трения, измеряемый в единицах пути трения, Δh – приращение линейного износа (рис. 4).

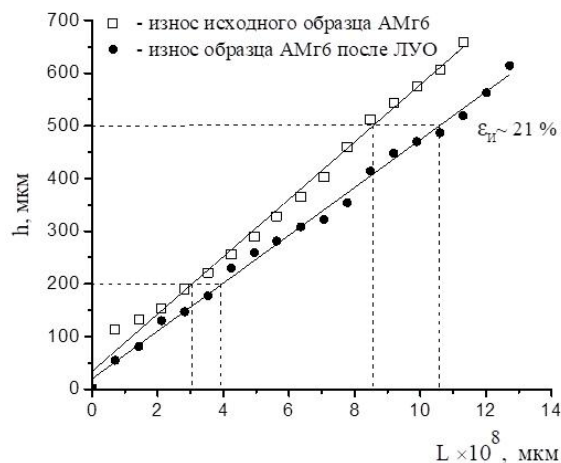


Рис. 4. Линейный износ в зависимости от пути трения

сплава 6061-T6 (аналог сплав АД33) с использованием в качестве контртела инструментальной стали В01 (65HRC) (аналог – сталь 9ХВГ), где прирост износостойкости составил 68 % [5]. В этом случае сжимающие остаточные напряжения величиной до 200 МПа фиксировались на глубине до 1,1 мм, и было отмечено, что

распределение остаточных напряжений влияет на скорость изнашивания сплава.

Наблюдаемое в экспериментах увеличение износостойкости сплава АМг6 после ЛУО, как и в [5], обусловлено изменением напряженного состояния в зоне лазерной обработки и дислокационного рельефа по глубине. Профили остаточных напряжений представлены на рис. 5, глубина остаточных сжимающих напряжений достигает 1400 мкм. Распределение остаточных напряжений (рис. 5) связано с дислокационной структурой в зоне обработки и обусловлено послойным изменением плотности дислокаций по глубине. По данным [6] на поверхности необработанного материала размер областей когерентного рассеяния (ОКР) $D = 120\text{--}130$ нм, величина микродеформаций $\varepsilon = 0,0009$ и плотность дислокаций $\rho \approx 8,0 \cdot 10^{13}\text{--}8,8 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2}$. Как и в [3; 6], плотность дислокаций определяли методом анализа профиля рентгеновской дифракционной линии (200). Согласно расчетам после ЛУО образцов толщиной 6 мм структурные характеристики поверхности: $D \approx 43$ нм, $\varepsilon \approx 0,002$, плотность дислокаций $\rho \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$.

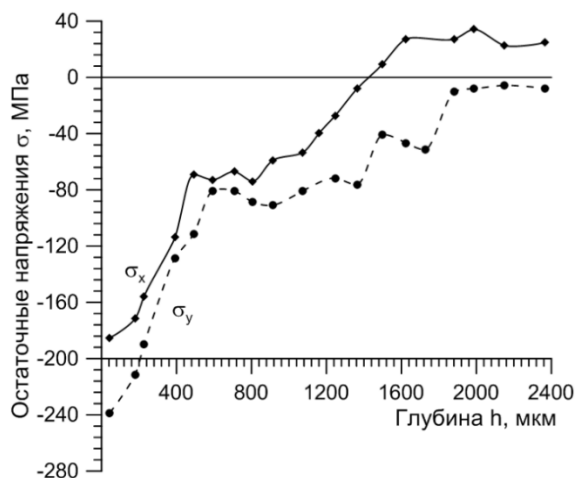


Рис. 5. Распределение остаточных напряжений после ЛУО:

σ_x — напряжения вдоль направления сканирования;
 σ_y — напряжения поперек направления сканирования

Анализ показывает, что наиболее интенсивные процессы пластической деформации, судя по изменениям плотности дислокаций, происходят до глубины 400–500 мкм. Далее, на участке глубин до 800 – 900 мкм наблюдается бо-

лее плавное уменьшение ρ и увеличение ОКР, затем снижение плотности дислокаций до их значений в необработанном сплаве. Такой характер распределения структурных характеристик вполне коррелирует с распределением соответствующих остаточных сжимающих напряжений. Исходя из зависимости плотности дислокаций и ОКР от глубины, можно приблизительно определить глубину пластической деформации при ударном воздействии.

Выполненные исследования позволяют утверждать, что лазерная ударная обработка является эффективным способом повышения износостойкости изделий из алюминиевых деформируемых сплавов. При ЛУО без покрытия сплава АМг6 с плотностью мощности 4,4 ГВт/см² при испытаниях на трение скольжения износостойкость увеличивается более чем на 20 %. Основной причиной роста износостойкости является увеличение плотности дислокаций в зоне обработки и коррелирующее с ним распределение остаточных сжимающих напряжений, распространяющихся на глубину до 1,5 мм и достигающих максимального значения в 240 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Achintha M., Nowell D. Eigenstrain modelling of residual stresses generated by laser shock peening // J. Mater. Process. Technol. – 2011. – V.211, Iss.6. – PP. 1091-1101. doi:10.1016/j.jmatprotec.2011.01.011
2. ГОСТ 14113–78. Сплавы алюминиевые антифрикционные. Марки. – М. : ИПК Издательство Стандартов, 2003. – 4 с.
3. Bakulin I. A., Kuznetsov S. I., Panin A. S. and Tarasova E. Yu. Laser Shock Processing of AMg6 Alloy without Coating // Inorganic Materials: Applied Research. – 2022. – V.13, №3. – PP. 619-625. <https://doi.org/10.1134/S2075113322030054>
4. ГОСТ 23.001–2004. Обеспечение износостойкости изделий. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2005. – 8 с.
5. Wear and friction of 6061-T6 aluminum alloy treated by laser shock processing / U. Sánchez-Santana, C. Rubio-González, G. Gomez-Rosas et al. // Wear. – 2006. – V.260, Iss.7-8. – PP. 847-854. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.04.014>
6. Effect of preliminary heat treatment of the formation of structure and residual stresses in the AMg6 alloy at laser shock peening without coating / I.A. Bakulin, S.I. Kuznetsov, A.S. Panin et al. // Journal of Russian Laser Research. – 2024. – V.45, №2. – PP. 237-248. <https://doi.org/10.1007/s10946-024-10207-4>

УДК 331.101.1:681.326.73

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-11-13

*А. А. Емельяненко, Ю. А. Зими́на***ТРЕБОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ К ЭРГОНОМИЧЕСКОМУ
ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПЕРЕНОСНЫХ ПУЛЬТОВЫХ ПРИБОРОВ:
АНАЛИЗ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ****Волгоградский государственный университет**

E-mail: emelyanenko_aleksei@mail.ru, ziminaua@mail.ru

Представлены результаты анализа и предложения по применению нормативной базы эргономических требований к проектированию переносных пультовых приборов.

Ключевые слова: эргономическое обеспечение, переносные пультовые приборы, нормативная база

*A. A. Emelyanenko, Yu. A. Zimina***REQUIREMENTS OF REGULATORY DOCUMENTATION
FOR THE ERGONOMIC PROVISION OF PORTABLE REMOTE
CONTROL DEVICES: ANALYSIS AND APPLICATION EXPERIENCE****Volgograd State University**

The results of the analysis and proposals for the application of the regulatory framework of ergonomic requirements for the design of portable remote control devices are presented.

Keywords: ergonomic support, portable remote control devices, regulatory framework

Проектирование переносных пультовых приборов – востребованная и успешно решаемая сегодня задача приборостроения. Переносной пультовой прибор – один из способов обеспечить мобильность технических средств преобразования, анализа, отображения информации и управления другими техническими средствами или процессами. Многообразие задач управления и областей применения подобных средств обуславливает множество технических решений и конструктивных исполнений мобильных пультов вообще и переносных пультовых приборов в частности. Вместе с тем переносной пультовой прибор – не только составная аппаратная часть технической системы, но и составная часть системы «человек – машина», где от качества отображения информации и удобства манипуляций оператора зависит правильность принятия решений и эффективность управления. Удобство эксплуатации и обслуживания переносного пультового прибора, его эргономичность – необходимое условие оперативного, правильного управления и безопасной работы оператора. Единство эргономических требований к переносным пультовым приборам – основа их эргономического обеспечения и очевидное следствие наличия и возможности применения нормативной эргономической базы.

Конструктивно переносные пультовые приборы, рассматриваемые в настоящей работе,

организованы, как правило, в виде кейсов той или иной степени защиты от внешних воздействующих факторов. Перемещение кейсов осуществляется переноской за ручки силами одного, двух человек либо кратковременным качением на встроенных или съемных опорах качения (шарнирах, роликах, колесах). Транспортное положение переносного пультового прибора – любое. Рабочее положение – горизонтальное: нижняя часть кейса расположена на горизонтальной поверхности, обладает большей массой, чем верхняя, обеспечивая устойчивое положение прибора при поднятой поворотной верхней части. В нижней части на панели управления располагаются органы (устройства) управления (клавиатура, сенсорная панель, джойстик и т. п.), устройства индикации (светодиоды, цифровой или вспомогательный графический дисплей и т. п.), возможно, устройства голосовой связи (микрофон, громкоговоритель). В верхней поворотной части (крышке) располагается, как правило, основное устройство отображения информации (монитор, дисплей, звуковой сигнализатор, возможно, громкоговоритель). Таков общий фактор и компоновка рассматриваемых переносных пультовых приборов.

Уровень миниатюризации современной электронной компонентной базы позволяет сочетать функциональность и мобильность переносных пультовых приборов. Переносные пуль-

товые приборы обеспечивают мобильность процессов сбора, обработки, отображения информации, анализа информации оператором, управления работой других составных частей мобильного или стационарного комплекса, следовательно, должны обладать подходящими массогабаритными характеристиками, безопасной и удобной для работы и транспортирования формой, рациональной для работы, технического обслуживания и регламентных работ конструкцией, функциональной и надежной организацией внешних подключений (кабельным или беспроводным интерфейсом), функциональным оформлением панели управления, удобным для восприятия, однозначным, лаконичным, четким, интуитивно понятным видеоинтерфейсом.

Все эти качества являются аспектами эргономики переносных пультовых приборов. Насколько существующая нормативная база охватывает эти аспекты? Какова доля типовых эргономических решений в обеспечении удобства эксплуатации и обслуживания переносных пультовых приборов гражданского назначения? Существует ли единая нормативная база эргономических требований к переносным пультовым приборам, охватывающая все разнообразие гражданского назначения приборов или независимая от отрасли применения прибора? Вот вопросы разработчиков переносных пультовых приборов гражданского назначения, обусловленные разнообразием и многогранностью подобного назначения.

Отдельным важным вопросом эргономики переносных пультовых приборов является вопрос наличия нормативного обеспечения пользовательского визуального интерфейса программных приложений.

Опыт работы отечественных приборостроительных предприятий и организаций-разработчиков [1–5] свидетельствует о том, что нормативная база эргономического обеспечения пользовательского визуального интерфейса автоматизированных систем вообще и переносных пультовых приборов в частности до сих пор не сформировалась на уровне национальных или хотя бы отраслевых стандартов.

В рамках настоящего объема невозможно привести перечень нормативных документов, касающихся эргономических требований в области электронного приборостроения. Однако анализ более двух сотен стандартов уровня национальных (Российской Федерации), межгосударственных и международных позволяет сделать следующие выводы:

1. Нормативная база эргономических требований не испытывает недостатка в основополагающих стандартах. Они во многом дублируют друг друга в таких системах и совокупностях стандартов, как «Система стандартизации эргономики и технической эстетики», «Комплексная система общих технических требований», «Система человек – машина», «Средства отображения информации индивидуального пользования», «Эргономика».

2. Национальные стандарты Российской Федерации не охватывают всех аспектов эргономики переносных пультовых приборов, несмотря на то, что существенная часть их получена из международных стандартов и является идентичной или модифицированной по отношению к последним.

3. В то же время далеко не все международные стандарты получили в России утвержденные идентичные соответствия в качестве национальных стандартов, но применяются (до утверждения) в переводном виде под собственными номерами как ссылочные документы для национальных стандартов, идентичных и модифицированных из международных.

Поэтому в условиях, когда не существует единства нормативной базы эргономического обеспечения пользовательского визуального интерфейса переносных пультовых приборов, выходом для отечественных разработчиков может стать разработка собственных нормативных документов – стандартов организаций, регламентирующих процедуры эргономического обеспечения и эргономические требования к интерфейсу. Подобный подход является общемировой тенденцией, прослеживается как в разработке собственных спецификаций и руководств по оформлению визуального интерфейса программных приложений крупных зарубежных компаний, так и отражает опыт отечественных сообществ разработчиков (концернов, корпораций), и, на наш взгляд, может быть применен в деятельности отдельных организаций-разработчиков. Согласование таких нормативных документов заинтересованными сторонами, прежде всего заказчиком, и утверждение разработчиком обеспечит однозначность эргономических требований и процедур их реализации в рамках круга заинтересованных сторон.

Рациональным и актуальным началом разработки таких стандартов организаций является формирование нормативной базы, соответствующей специфике (назначению) проектируемых приборов или отраслевой принадлежности

организации-разработчика, а именно: выявление стандартов, их частей и разделов, применимых к нормированию эргономического обеспечения интерфейса переносных пультовых приборов на уровне организации-разработчика; определение (составление перечня) документированных процедур эргономического обеспечения, присущих проектированию приборов того или иного назначения. Общий перечень документированных процедур эргономического обеспечения состоит из собственно эргономического обеспечения на стадиях проектирования, этапе разработки рабочей конструкторской документации, этапе изготовления опытного образца и эргономической экспертизы по завершению каждой стадии и этапа. Документами, регламентирующими названные процедуры, являются программа эргономического обеспечения, программа и методики эргономической экспертизы, заключение по результатам эргономической экспертизы, справка (справочные материалы) о соответствии конструкторской документации (опытного образца) эргономическим требованиям.

Таким образом, в условиях недостаточности и «размытости» по различным системам и совокупностям стандартов требований эргономики к переносным пультовым приборам наиболее прямым и рациональным путем обеспечения названных требований на всех стадиях

проектирования, этапах разработки конструкторской документации и изготовления опытного образца и при предъявлении результатов каждого этапа гражданскому заказчику представляется разработка и согласование с заказчиком (и заинтересованными сторонами) стандартов организаций, регламентирующих процедуры эргономического обеспечения и эргономические требования к приборам, к их аппаратной части и пользовательскому визуальному интерфейсу программных приложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анохин, А. Н. Проектирование интерфейсов / А. Н. Анохин, Н. А. Назаренко // Биотехносфера. – 2010. – № 1. – С. 21–27.
2. Богомолов, С. А. Проблемы стандартизации эргономических требований в процессе создания новых систем, изделий и инновационных технологий / С. А. Богомолов, В. В. Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – С. 73–84.
3. Галанова, И. С. Эргономическое обеспечение проектирования интеллектуальных пользовательских интерфейсов / И. С. Галанова, Ю. А. Малахов // Эргодизайн. – 2019. – № 3. – С. 122–126.
4. Падерно, П. И. Эргономическая экспертиза пользовательских интерфейсов в разрабатываемых информационных системах / П. И. Падерно, Н. А. Назаренко // Эргодизайн. – 2018. – № 2. – С. 14–19.
5. Тиханычев, О. В. Пользовательские интерфейсы в автоматизированных системах: проблемы разработки / О. В. Тиханычев // Программные системы и вычислительные методы. – 2019. – № 2. – С. 11–22.

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-13-18

А. А. Жданов¹, Е. М. Фролов¹, А. В. Рогачев¹, Р. М. Амхадов²

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕД НА СТОЙКОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ТОЧЕНИИ

¹Волгоградский государственный технический университет

²Московский государственный технический университет «СТАНКИН»

E-mail: alex_128@mail.ru, eltar1983@yandex.ru, alexsandrogachev@ya.ru, Sarmak55555@mail.ru

В рамках современных предприятий применение СОТС является повсеместным. Смазочные материалы оказывают значительное положительное влияние на процессы резания. Они повышают качество всего процесса металлообработки: уменьшают износ режущего инструмента, повышают качество обработанной поверхности и снижают затраты энергии, а также препятствуют образованию нароста у режущей кромки инструмента и способствуют удалению стружки и абразивных частиц из зоны резания. Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность работы машиностроительных предприятия различной направленности, является правильный выбор и использование в производстве СОТС. В связи с этим целью работы являлось построение диаграмм влияния СОТС на износ инструмента и шероховатость обработанной поверхности и проведение сравнительного анализа различных СОТС.

Ключевые слова: смазывающе-охлаждающие жидкости, стойкость инструмента, шероховатость поверхности, режимы резания, термоЭДС

A. A. Zhdanov¹, E. M. Frolov¹, A. V. Rogachev¹, R. M. Amhadov²

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CUTTING FLUIDS
ON THE DURABILITY AND ROUGHNESS DURING TURNING**

¹Volgograd State Technical University

²Moscow State Technical University «STANKIN»

Within the framework of modern enterprises, the use of cutting fluids (coolant) is ubiquitous. Lubricants have a significant positive effect on cutting processes. They improve the quality of the entire metalworking process: they reduce wear of the cutting tool, improve the quality of the finished surface and reduce energy costs, as well as prevent build-up at the cutting edge of the tool and help to remove chips and abrasive particles from the cutting area. One of the key factors influencing the efficiency of machine-building enterprises of various orientations is the correct choice and use of SOTS in production. In this regard, the purpose of the work was to build diagrams of the effect of HFO on tool wear and roughness of the treated surface, and to conduct a comparative analysis of various HFOs.

Keywords: cutting fluids, tool life, surface roughness, cutting conditions, thermal EMF

В рамках современных предприятий применение СОТС является повсеместным. Смазочные материалы оказывают значительное положительное влияние на процессы резания. Они повышают качество всего процесса металлообработки: уменьшают износ режущего инструмента, повышают качество обработанной поверхности и снижают затраты энергии, а также препятствуют образованию нароста у режущей кромки инструмента и способствуют удалению стружки и абразивных частиц из зоны резания. В связи с этим одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность работы машиностроительных предприятия различной направленности, является правильный выбор и использование в производстве СОТС. Однако в настоящий момент в теории резания существует пробел в области применения СОТС, из рассмотренных справочников только в двух имеются поправки на использование смазочно-охлаждающих технических средств и те представлены в виде понижающих коэффициентов при отсутствии выше указанных. На многих предприятиях существует мнение о том, что от выбора СОТС практически не зависит качество деталей и стойкость инструмента. Руководствуясь этим мнением в весь парк станков предприятия используется 1–2 вида СОТС вне зависимости от обрабатываемого материала. Данное мнение является ошибочным, что подтверждается результатами многочисленных исследований воздействия СОТС на процесс резания металлов [0; 0].

На сегодняшний день влияние СОТС при определенных условиях обработки слабо оценено или вовсе не учитывается в рассмотренных справочниках, по которым назначаются режимы резания на большом количестве предприятий России. Выбор СОТС, обеспечивающей максимально возможный срок службы ин-

струмента и наилучшую шероховатость при конкретных условиях обработки затруднен. В настоящее время для того, чтобы подобрать оптимальную СОТС необходимо провести ряд стойкостных испытаний, что является трудоемким и финансово затратным мероприятием. Целесообразной является разработка методики ускоренной оценки СОТС, которая позволит по результатам лабораторных испытаний анализировать период стойкости режущего инструмента с применением данной СОТС и на основе этих данных назначать оптимальные режимы резания для известной контактной пары инструмент-деталь по величине термоЭДС. Одним из основных функциональных действий СОТС, влияющих на период стойкости инструмента, является охлаждающее действие.

Традиционные машиностроительные справочники предлагают достаточно поверхностные и приблизительные оценки влияния СОТС на процесс резания. Сравнительные расчеты скорости и сил резания (таблица), проведенные с использованием справочной литературы для обработки стали 20, 40Х и 30ХНМА резцом с твердосплавной пластиной Т15К6 при одинаковых режимах резания ($S = 0,33$ мм/об, $t = 2$ мм), показали, что влияние СОТС на скорость резания учитывается в справочниках [0; 0], как коэффициент 0,75 и 0,80 к скорости резания (если СОТС не используется), при этом, влияние СОТС на силы резания не берется во внимание совсем.

В монографии профессора Плотникова [0] указано, что главной причиной неточности в определении допустимой скорости резания являются величины коэффициентов K_i и K_m , учитывающие свойства инструментального и обрабатываемого материалов соответственно, а также величина коэффициента C_v , зависящая от условий резания, определяемых, в частно-

сти, сочетанием свойств контактируемой пары «инструмент – изделие». Влияние же подачи и глубины резания на величину допустимой ско-

рости резания минимально ввиду малых значений самих величин S и t , характерных для чистовой и получистовой обработки.

Расчетные режимы резания стали 40X

Справочник авторов	Скорость резания V , м/мин		Силы резания P , Н					
			P_z		P_y		P_x	
	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС
А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков	150	–	1402	–	521	–	643	–
Ю. В. Барановский	209	–	1060	–	–	–	–	–
М. Г. Шеметов, В. Ф. Безъязычный	147	–	830	–	–	–	–	–
В. И. Гузеев	113	151	–	–	373	–	357	–
В. И. Баранчиков	96	120	–	–	–	–	–	–

Все вышесказанное подводит нас к мысли о том, что исследование влияния СОТС на процессы резания необходимо проводить с учетом изменчивости свойств инструментального и обрабатываемого материалов в каждом отдельном случае. Одним из путей решения данной проблемы является предварительное диагностирование свойств контактной пары «инструмент – изделие».

В работе Gharaibeh'a [6] было рассмотрено изменение шероховатости при точении алюминиевого сплава АД-33 с применением различных по виду СОТС с различной их концентрацией в эмульсии. Разница между полученными значениями в рамках одного состава отличается в пределах 30 %, что говорит о незначительном влиянии СОТС на шероховатость.

В статье Чигиринского [7] приведены результаты исследования влияния СОТС на параметры R_a шероховатости поверхности. Были построены сравнительные графики для продольного точения без СОТС и с СОТС, которые приведены ниже, и проведен регрессионный анализ.

Материалы и методы

Исследования влияния СОТС на стойкость инструмента и шероховатость обработанной поверхности проводились на токарно-обрабатывающем центре OKUMA GENOS L300-M с прототипом устройства для автоматического назначения режимов обработки [8] на токарном станке с ЧПУ на основе анализа режущих свойств по значению термоЭДС пробного прохода. Инструментальным материалом служили твёрдосплавные пластины Korloy WNMG

080404-LP NC3225. Для оценки износа пластин применялся большой инструментальный микроскоп БМИ-1. Для обработки были отобраны заготовки $\varnothing 200$ из стали 40X.

Для обеспечения достоверности проведения стойкостных испытаний и сравнительных испытаний для измерения шероховатости предварительно тарированная выборка пластин была отсортирована на 3 группы включающих в себя по 10 пластин каждая. В каждой группе значимость различий средних значений по величине термоЭДС оценивалась по статистическим критериям Стьюдента и Фишера. Для проведения испытаний были отобраны пластины, значения термоЭДС которых соответствовало максимальному, среднему и минимальному в полученном диапазоне измеренных значений: № 2 Епр = 19,21 мВ (пластина 1), № 13 Епр = 15,69 мВ (пластина 2), № 24 Епр = 11,08 мВ (пластина 3).

Величина износа каждой пластины оценивалась путем измерения фаски износа до достижения величины 0,5 мм при обработке заготовки из стали 40X на следующих режимах: подача $S = 0,1$ мм/об; глубина резания $t = 1$ мм; скорость резания $v = 100$ м/мин; – в двух режимах – с СОТС и без СОТС. Для измерения износа использовался большой инструментальный микроскоп БМИ-1. Замеры шероховатости поверхности проводились при помощи профилометра Mitutoyo Surftest SJ-210.

Результаты исследования

В результате проведения стойкостных испытаний получены графики зависимости износа резца от времени (рис. 1, 2). Стойкостные испытания показали, что можно говорить о не-

котором коэффициенте пропорциональности $COTC$ и с $COTC$ (1,5...1,75 в рамках полученной выборки).

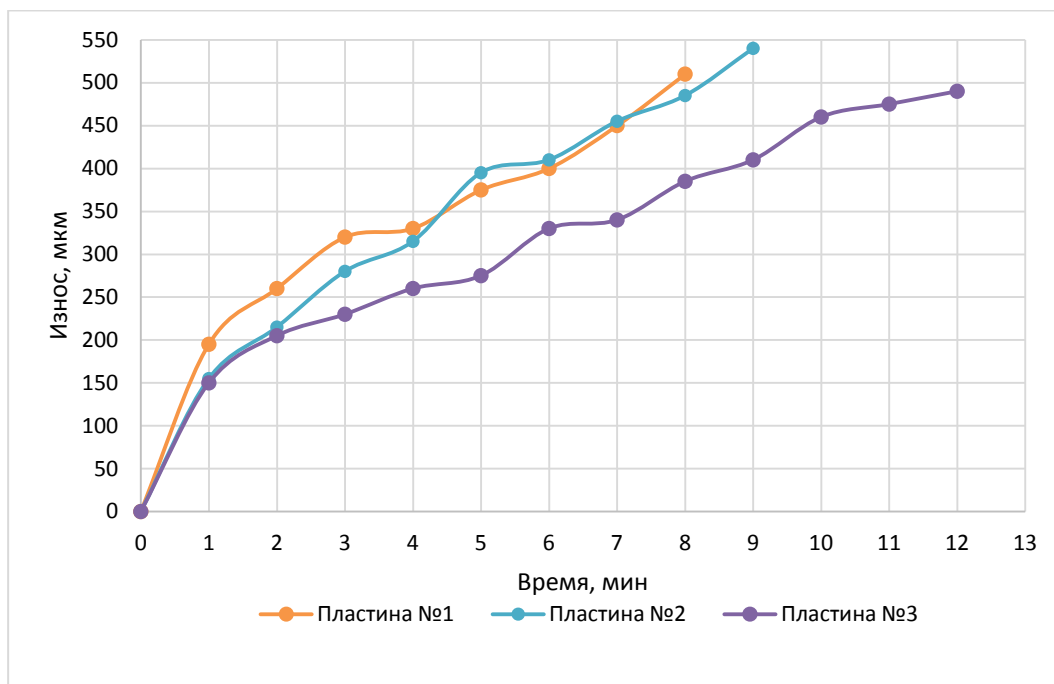


Рис. 1. Зависимость износа пластин при точении без $COTC$

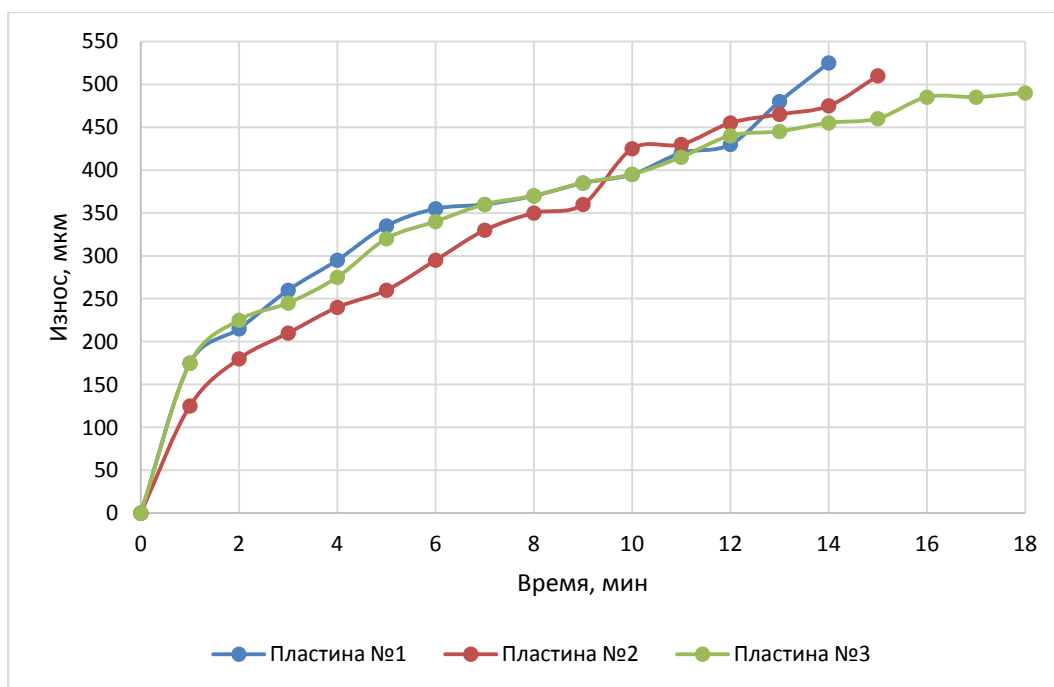


Рис. 2. Зависимость износа пластин при точении с $COTC$

Параметр термоЭДС можно использовать для построения регрессионных математических моделей для прогнозирования стойкости резца и назначения адекватных скоростей резания при токарной обработке с применением $COTC$,

однако для этого необходимы отдельные серии опытов. Необходимо отдельно анализировать влияние различных типов $COTC$ на параметр стойкости, а также провести аналогичные исследования на других группах сталей.

На основании проведенных экспериментов и построенных сравнительных графиков изменения шероховатости (рис. 3, 4) можно сделать вывод о том, что наличие СОТС в зоне резания и величина скорости резания оказывают не существенное влияние на значение параметров Ra

и Rz шероховатости поверхности обрабатываемой детали. В то время как геометрия режущего инструмента, учтенная величиной термоЭДС, является определяющим фактором в данной модели и оказывает существенное влияние на шероховатость.

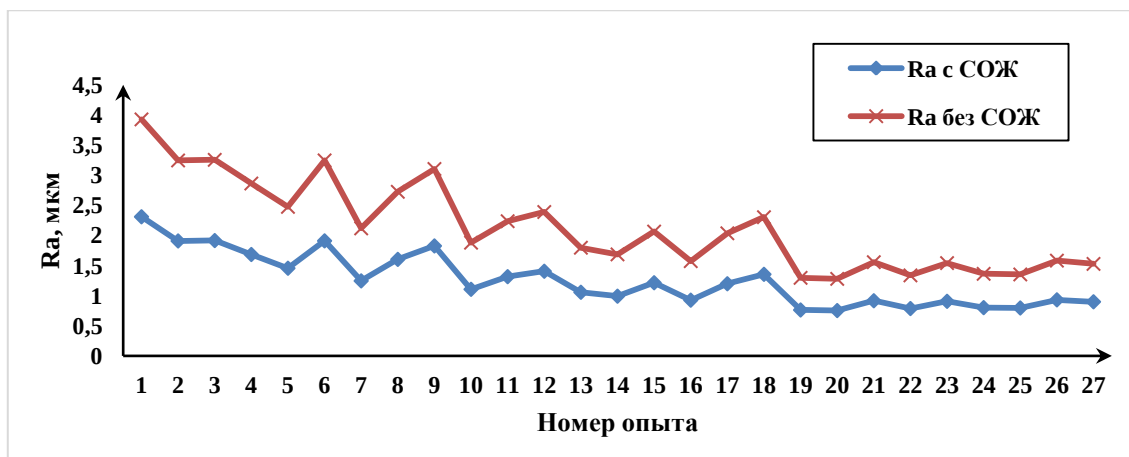


Рис. 3. Результаты измерения параметра шероховатости Ra при продольном тонком точении с СОТС и без СОТС

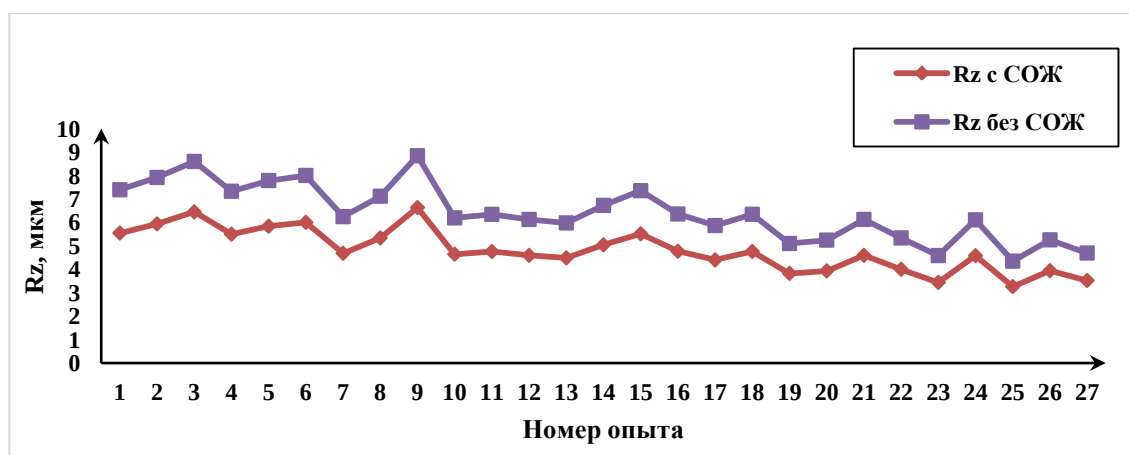


Рис. 4. Результаты измерения параметра шероховатости Rz при продольном тонком точении с СОТС и без СОТС

В качестве направления дальнейшего исследования предполагается проведение стойких испытаний твердосплавных пластин при получистовом точении, экспериментально оценить охлаждающее действие испытанных марок СОТС, исследовать возможности предварительной оценки (прогнозирования) стойкости пластин при механической обработке нержавеющих сталей с применением СОТС на основе использования различных диагностических индикаторов, таких как термоЭДС, микротвердость и т. д. Установить зависимость периода стойкости токарного инструмента от параметров охлаждающего действия СОТС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Adegbuyi. A. O., Lawal G.; Oluseye O. Odunaiya Analysing the effect of cutting fluids on the mechanical properties of mild steel in a turning operation // American Journal Of Scientific And Industrial Research. 2010. No. 2(1). P. 1–10.
2. Lawal S. A., Ugheoke B. I., Woma T. Y., Ikporo J. U., Ogundare T. A., Nonye C., Okoye I. G. Effect of Emulsifier Content on the Properties of Vegetable Oil Based Cutting Fluid // American Journal of Materials Engineering and Technology. 2015. Vol. 3, no. 3. P. 63–69.
3. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением : справочник / под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.
4. Справочник конструктора-инструментальщика / под ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1994. – 560 с.

5. 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.

6. Gharaibeh N. Vegetable and Mineral Used Oils as Cutting Fluids: Effect on Surface Roughness of Aluminum Alloy // Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology. 2016. No. 6. P. 176–182.

7. Information Channel for Proactive Control of Machining Conditions: A Cyber-Physical System on the Basis of a CNC Machine / Ю.Л. Чигиринский, А.А. Жданов, Ж.С. Тихонова, А.В. Рогачев, Н.В. Чигиринская // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science : 5th International Conference CIT&DS 2023 (Volgograd, Russia, September 11-15, 2023) :

Proceedings / eds.: A. G. Kravets, M. V. Shcherbakov, P. P. Grompos ; Volgograd State Technical University [et al.]. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2023. – P. 274–287. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-44615-3_19. – (Book ser.: Communications in Computer and Information Science (CCIS) ; vol. 1909).

8. Фролов, Е. М. Интеллектуальное устройство автоматического назначения режимов точения / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев // Актуальные проблемы станкостроения – 2023 : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пенза, 1–3 июня 2023 г.) / под общ. ред. А. Е. Зверовщикова [и др.] ; Пензенский гос. университет, ОО «СтанкоМашСтрой» [и др.]. – Пенза, 2023. – С. 411–415.

УДК 621.432

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-18-20

А. С. Захаров, Ю. С. Багайсков

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ БЛОКОВ ДВС ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

E-mail: zaharov_1999@mail.ru, bagaiskov@bk.ru

Основным материалом для изготовления современных блоков цилиндров служат алюминиевые сплавы. Блоки можно ремонтировать расточкой и введением упрочненных разными способами алюминиевых и чугунных вставок. Одним из перспективных методов упрочнения является микродуговое оксидирование (МДО) алюминия, где вследствие воздействия высокочастотного электрического разряда в жидкой среде на поверхности образуется высокотвердая оксидная пленка. Второй вариант – упрочнение поверхности алюминия при действии коротких электрических разрядов (искр). Для чугунных вставок подходит лазерное упрочнение. В результате теплового анализа установлено, что алюминиевая гильза с МДО лучше отводит тепло рабочих газов и в целом этот метод достаточно эффективен для повышения надежности и долговечности двигателей автомобилей.

Ключевые слова: двигатели, гильза, алюминий, упрочнение, надежность, оксидирование

A. S. Zakharov, Yu. S. Bagayskov

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL METHODS OF INCREASE OF STRENGTH OF SURFACE OF CYLINDERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE BLOCKS FROM ALUMINUM ALLOYS

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University

Aluminum alloys serve as the main material for manufacturing modern cylinder blocks. Blocks can be repaired by boring and introduction of aluminum and cast iron inserts hardened by different methods. One of the promising methods of hardening is micro-arc oxidation (MDA) of aluminum, where due to the impact of high-frequency electric discharge in a liquid medium, a high-hard oxide film is formed on the surface. The second option is the hardening of the aluminum surface by short electric discharges (sparks). Laser hardening is suitable for cast iron inserts. As a result of thermal analysis it is established that aluminum liner with MDO better removes heat of working gases and in general this method is effective enough to increase reliability and durability of car engines.

Keywords: engines, liner, aluminum, hardening, reliability, oxidation

Растет популярность автомобилей с электрической тягой, однако количество техники с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) не сокращается. Существует необходимость внедрения в конструкцию двигателей новых современных

технологий [1]. Самыми популярными видами улучшения ДВС становится использования альтернативных видов топлив и внедрения систем принудительного нагнетания воздуха. Результатом этого становится увеличение ко-

эффекта полезного действия двигателей, снижение их массы и уменьшение габаритов. Однако, как правило, улучшение одних характеристик ведет к снижению других. Так использование механических нагнетателей ведет к повышению механических и тепловых нагрузок на цилиндропоршневую группу двигателя [2].

Применение альтернативных видов топлив ведет к изменению химического состава среды в камере сгорания, до и после воспламенения топливно-воздушной смеси.

Детали цилиндропоршневой группы являются наиболее нагруженными в ДВС. Они функционируют в условиях воздействия высоких температур, динамических нагрузок, сил трения и агрессивных химических соединений. Износ поршней, колец и рабочих поверхностей цилиндров является одним из основных лимитирующих факторов, определяющих межремонтные периоды двигателя. Увеличение толщины стенок цилиндров чугунных двигателей привело к их утяжелению, также не помогло в достаточной мере отвести излишнее тепло в систему охлаждения, значительно увеличился расход топлива. Возникла необходимость в новом материале блоков цилиндров.

Таким материалом стали алюминиевые сплавы, чаще всего силумин, смесь алюминия с кремнием. Легкий и хорошо передающий тепло сплав. Именно свойство теплопроводности стало решающим. Помимо уменьшения веса блока, использование алюминия позволяет уменьшить объем системы охлаждения на 35–65 %. Введение кремния в сплав влияет на повышение прочности, но снижается теплостойкость, возрастает сложность обработки отверстий.

Для упрощения технологических процессов стали использоваться методы упрочнения только рабочих поверхностей цилиндров. Одним из таких способов стало плазменное напыление смеси карбида кремния с никелем, заметно увеличивающее ресурс двигателя [3; 4]. Однако серьезным недостатком здесь является чувствительность покрытия к бензину с высоким содержанием серы [5]. В случае образования конденсата водяного пара на стенка цилиндра в сырую погоду при взаимодействии с остатками серы образуется сернистая кислота, которая реагирует с никелем, разрушая его. Помимо этого, такое напыление обладает слишком низкой шероховатостью. Масляная пленка плохо задерживается на нем, возрастает трение.

Автомобили с никелево-кремниевым напылением, управляемые качественным топливом,

могут перейти отметку 200 тысяч километров (при стандартных значениях 100–150 тысяч), в то время как на высокосернистом бензине ресурс может закончиться и на 30–50 тысячах километров.

При выходе двигателя из строя, такие блоки ремонтируются расточкой и введением чугунных вставок. Однако при этом невозможно восстановить заводское покрытие, есть проблемы высокой стоимости новых заводских агрегатов. Кроме того в результате такого ремонта при эксплуатации повышается температура охлаждающей жидкости, растет расход топлива. Наблюдается повышенный износ цилиндров, в блоке могут появляться трещины. В отдельных случаях происходит полное разрушение стенки блока и гильзы цилиндра, к полной утрате работоспособности двигателя [6; 7].

Поэтому прежней проблемой является поиск оптимальных методов упрочнения рабочей поверхности стенки цилиндров двигателей. В этом направлении можно рассматривать введение упрочненных разными способами алюминиевых и чугунных вставок.

Одним из перспективных методов упрочнения является микродуговое оксидирование (МДО) алюминия – это процесс, при котором поверхность алюминия подвергается высокочастотному электрическому разряду, что приводит к образованию оксидной пленки на поверхности металла [8]. Получается многослойное рабочее покрытие повышенной прочности и твердости из оксида алюминия по свойствам и составу схожее с электрокорундом (рис. 1).

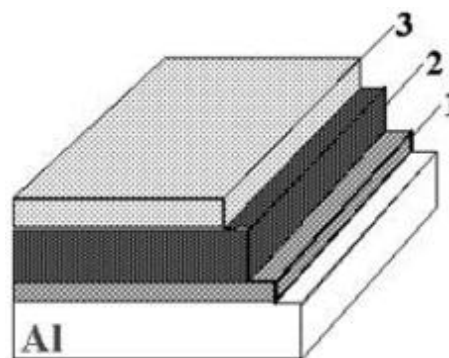


Рис. 1. Структура МДО-покрытия:
1 – переходной слой; 2 – рабочий слой; 3 – муллит

Верхний рыхлый слой муллита удаляется при обработке с алмазной пастой на токарном станке. Окончательно необходимо провести хонингование алмазными брусками. При этом создается сетка следов обработки, благоприят-

ная для задержания масляной пленки при работе двигателя.

Второй вариант – искровое упрочнение алюминия – это специальная обработка металла, при которой поверхность алюминия подвергается коротким воздействиям электрических разрядов (искр). Это приводит к повышению прочности и твердости металла за счет изменения его структуры на поверхности, улучшению износостойкости и усталостной прочности. Однако это делает финишную обработку такой поверхности более сложной задачей. Для шлифования поверхности сразу после упрочнения предлагается использовать внутреннее шлифование инструментом из электрокорунда, далее можно применить алмазную пасту, после чего произвести алмазное хонингование.

Для чугунных вставок можно рассмотреть лазерное упрочнение – это современная технология термической обработки металлов и сплавов, включая чугун, с использованием лазерного излучения. Этот метод применяется для улучшения механических свойств поверхностного слоя материала, существенно поднимает твердость от 450HV до 800HV. Поверхность получается с низкой шероховатостью, что дает возможность сразу перейти к процессу хонингования.

Проведя тепловой анализ в программе SolidWorksSimulation (рис. 2), можно сделать вывод, что алюминиевая гильза лучше отводит тепло рабочих газов и имеет более плавный температурный градиент, что положительно скажется на работе двигателя автомобиля.

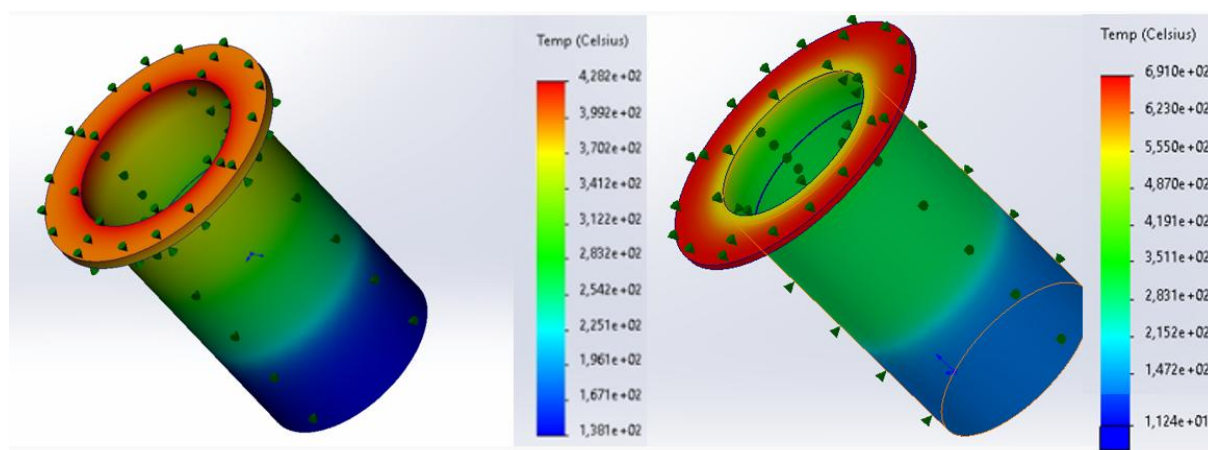


Рис. 2. Тепловой анализ алюминиевой гильзы ДВС (слева) и чугунной (справа)

Достаточно много свидетельств [8; 9], что метод МДО достаточно эффективен, имеет ряд преимуществ и может быть применен при ремонте и восстановлении двигателей автомобилей.

Таким образом микродуговое оксидирование следует рассматривать как предпочтительный метод повышения надежности и долговечности современных двигателей внутреннего сгорания из алюминиевых сплавов, соответствующий современным требованиям и критериям оценки качества механических узлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарипов, М. Д. Перспективы развития поршневых ДВС / М. Д. Гарипов, Б. П. Рудой // Инновационные проблемы развития машиностроения в Башкортостане : сб. науч. трудов. – Уфа : Гилем, 2003. – С. 33–48.
2. Качканьян, Р. А. Пути снижения потерь на трение в кривошипно-шатунном механизме поршневых ДВС / Р. А. Качканьян, К. С. Кульмагамбетов // Молодой ученый. – 2016. – № 10. – С. 231–234.
3. Kainer K. U. (ed.). Metal matrix composites: custom-

made materials for automotive and aerospace engineering. – John Wiley & Sons, 2006.

4. Srivastava M., Sinha U., Muniprakash M., Mithran A. et al. Wear Resistant and Fuel Efficient Ni-Co Based Composite Coating for Engine Cylinder Application. SAE Technical Paper 2017-26-0165. 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0165>.

5. Goodman J. Nikasil and Alusil //Engine Professional. 2008. – С. 18-22.

6. Lenny J. Replacing the cast iron liners for aluminum engine cylinder blocks: a comparative assessment of potential candidates //Rensselaer Polytechnic Institute Hartford, Connecticut, 2011.

7. Dell R., Rand D. A. J. Clean energy. Royal Society of Chemistry, 2004. – Т. 5

8. Криштал, М. М. Использование технологии микродугового оксидирования при разработке ДВС с блоком цилиндров из алюминиевого сплава / М. М. Криштал, П. В. Ивашин, П. В. Коломиец // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 12, № 4, 2010. – С. 242–246.

9. Мусин, Н. Х. Повышение износостойкости и снижение механических потерь двигателя внутреннего сгорания посредством искрового упрочнения и микродугового оксидирования рабочей поверхности цилиндра : дисс. ... канд. тех. наук: 05.04.02. – УУНиТ. – Уфа, 2018. – 158 с.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-21-30

*П. В. Малинин¹, П. Ю. Бочкарев^{1, 2}***СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ НАЛАДКИ ОПЕРАЦИЙ
ПРОХОДНОГО БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ**¹ Камышинский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»² Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. ВавиловаE-mail: Mrpv92@yandex.ru, bpy@mail.ru

Проходное шлифование как один из методов бесцентрового шлифования отличается высокой производительностью и точностью обработки. Однако его применение в потенциально возможных отраслях промышленности ограничено довольно узкой областью. В большинстве случаев это связано с отсутствием окончательно сформированной методологической базы наладки и управления реализацией технологических операций. В статье на основе результатов кластерного анализа по критерию однотипности выполняемых проектных процедур определена группа методов обработки, имеющая наибольшую производственную востребованность. Для выбранной группы сформированы конструкторско-технологические условия проведения операций проходного бесцентрового шлифования.

Представлен обзор научных исследований, результаты анализа современной реальной производственной сферы в технологическом обеспечении операций проходного бесцентрового шлифования. Описана предложенная последовательность проведения работ по наладке бесцентрово-шлифовального оборудования, отличающаяся назначением и формализованным расчетом наладочных параметров, удобных для их выполнения.

Ключевые слова: технологическая подготовка механообрабатывающих производств, проходное бесцентровое шлифование, наладка технологических операций, конструкторско-технологические характеристики, бесцентрово-шлифовального оборудования

*P. V. Malinin¹, P. Yu. Bochkarev^{1, 2}***REDUCING THE COMPLEXITY OF SETTING UP OPERATIONS
OF THROUGH-PASS CENTERLESS GRINDING**¹ Kamyshinsky Institute of Technology (branch) Volgograd State Technical University
² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov

Through grinding, as one of the methods of centerless grinding, is characterized by high productivity and processing accuracy. However, its application in potentially possible industries is limited to a rather narrow area. In most cases, this is due to the lack of a fully formed methodological base for setting up and managing the implementation of technological operations. In the article, based on the results of cluster analysis, according to the criterion of uniformity of the performed design procedures, a group of processing methods with the greatest production demand is determined. For the selected group, the design and technological conditions for conducting through-pass centerless grinding operations have been formed. The review of scientific research, the results of the analysis of the modern real production sphere in the technological support of operations of continuous centerless grinding are presented. The proposed sequence of work on the adjustment of centerless grinding equipment is described, which differs in the purpose and formalized calculation of the adjustment parameters convenient for their implementation.

Keywords: technological preparation of machining industries, continuous centerless grinding, adjustment of technological operations, design and technological characteristics, centerless grinding equipment

Несмотря на ряд преимуществ бесцентрового продольного шлифования, область его применения ограничена. Применение технологии бесцентрового шлифования является задачей, требующей научно-обоснованного подхода для расширения возможностей использования. Применение этих методов обработки, прежде всего, ограничивается сложностью настройки и доводки оборудования из-за отсутствия фор-

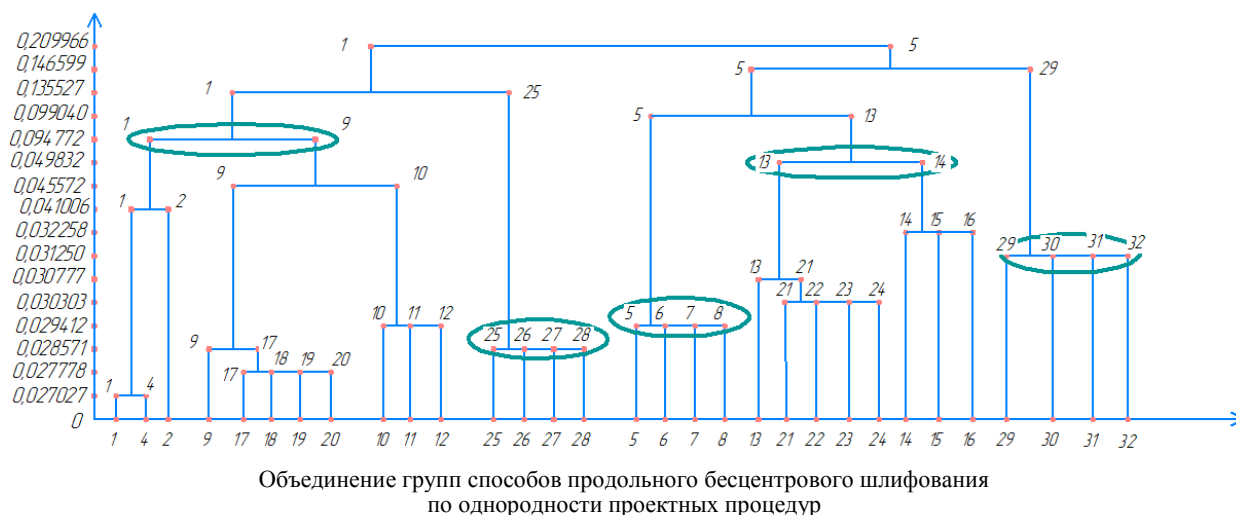
мализованных процедур [1–3]. Эффективность технологической системы зависит от уровня квалификации и опыта работника, что добавляет субъективный элемент не только в результаты выполнения операции, но и в организацию всего производственного процесса. Одной из ключевых задач является проведение исследований для разработки методов определения силовых воздействий между элементами техноло-

гической системы в процессе обработки на всех участках рабочей зоны, с целью обеспечения равномерного вращения детали. Эти факторы приводят к значительным затратам времени и усилий при настройке и управлении процессами, что ограничивает их эффективное применение до условий массового и крупносерийного производства. Учитывая, что операции, проводимые на бесцентровом оборудовании, имеют ограниченные возможности развития в направлениях, связанных с автоматизацией производственного процесса, создание полноценных моделей, описывающих все аспекты, является одной из важнейших задач [4–6]. Получение данного результата невозможно без анализа всех особенностей разнообразных по своим схемам и условиям функционирования способов обработки методом бесцентрового шлифования. С этой целью выполнена структурная класси-

фикации продольного бесцентрового шлифования, включающая группирование процедур отдельных этапов технологического обеспечения на основе критерия однородности проектных процедур [7–10].

Проведенный кластерный анализ позволил объективно сформировать пять групп продольного бесцентрового шлифования и определить множество способов обработки, входящих в каждую из этих групп. Результаты анализа представлены на рисунке. Определены уровни иерархии объединяющие следующие множества способов обработки для бесцентрового проходного шлифования [11]:

- $Y_1 = \{1; 4; 2; 9; 17; 18; 19; 20; 10; 11; 12\}$;
- $Y_2 = \{25; 26; 27; 28\}$;
- $Y_3 = \{5; 6; 7; 8\}$;
- $Y_4 = \{13; 21; 22; 23; 24; 14; 15; 16\}$;
- $Y_5 = \{29; 30; 31; 32\}$.



Выполнены исследования по определению факторов являющимися преимущественными при формировании групп (Y_1 – Y_5), связанных с выполнением проектных процедур технологической подготовки операций продольного бесцентрового шлифования. Выявлены важные объединяющие характеристики, присущие только открытым поверхностям, и определены основные факторы, способствующие их объединению. Эти факторы включают в себя форму кругов, кинематические схемы обработки, а также формы и виды опорных поверхностей. В ходе исследования были определены приоритетные объединяющие характеристики для каждой из групп, что позволяет более точно решать поставленные задачи и объективно формировать схемы обработки, учитывая конкретные производственные условия. Для каждой из

сформированных групп были научно обоснованы граничные условия по конструкторско-технологическим характеристикам, что позволяет формализовать методики определения технологических режимов обработки, наладки и управления станками продольного бесцентрового шлифования.

Объединение групп является важным этапом, который отражает набор исходных данных, характерные особенности процесса и структуру алгоритма методических принципов проектирования. Это принципиально отличный подход от известных исследований в данной области. Научно-обоснованное формирование пяти множеств способов обработки заготовок при продольном бесцентровом шлифовании является ключевым фактором, который позволяет получить более точное решение по-

ставленной задачи, а также осуществить объективное последовательное формирование групп схем. При этом учитываются различные варианты обработки и обеспечивается выбор оптимального способа в каждом конкретном случае.

По итогам эмпирических сведений и ранее проведенного классификации методов продольного бесцентрового шлифования по конструкторско-технологическим признакам установлено [11], что в наибольшей мере на практике используются методы, объединенные в кластер УЗ. В который вошли методы обработки наружных цилиндрических поверхностей с использованием проходного бесцентрового шлифования, по средствам перемещения заготовки в рабочей зоне за счет схемы взаимодействия заготовки с элементами технологической системы, с применением неподвижных направляющих имеющих плоскостную форму и точечными контактами обрабатываемой поверхности с шлифовальным, ведущим кругом и опорной поверхностью в каждом сечении рабочей зоны.

Выполненные исследования позволили сформулировать специфические для данной группы методов обработки бесцентрового шлифования, конструкторско-компоновочные схемы оборудования и технологические условия реализации бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей. Среди них:

– в процессе обработки используется один шлифовальный и один ведущий круг, опорная поверхность в форме наклонной плоской поверхности;

– положение оси шлифовального круга при наладке и подналадке не изменяется;

– возможность наклона оси ведущего круга в вертикальной плоскости;

– вращение шлифовального и ведущего круга по часовой стрелке;

– форма опорного ножа имеет гладкую поверхность, под углом в сторону ведущего круга;

– расположение плоскости опорного ножа не меняется относительно оси шлифовального круга;

– правка шлифовального круга выполняется по прямолинейной траектории;

– форма ведущего круга для обеспечения проходного бесцентрового шлифования имеет форму одно или двуполостного гиперболоида.

Проведенный обзор научной литературы, в которой представлены работы по технологическому обеспечению операций бесцентрового шлифования для рассматриваемого сформированного кластера методов обработки показал, что основополагающие принципы, на которых строится современное методическое обеспечение, представлены в источниках [12–15]. Последующие работы выполнялись на этих принципах, детализируя отдельные вопросы, и не затрагивая их корректировку и серьезное развитие. В табл. 1 сведены формулировки из них, в которых содержатся базовые положения, разнесенные по отдельным разделам в зависимости от задач исследования процессов, организации технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Таблица 1

Структурное описание известных принципов технологической подготовки операций бесцентрового проходного шлифования

Общие подходы наладки операций проходного бесцентрового шлифования	Работы по наладке можно разделить на два этапа – предварительный и окончательный. Предварительная наладка обеспечивает необходимое для конкретной обработки начальное расположение базирующих элементов и узлов станка, взаимодействие его механизмов. Выбор оптимальных наладочных параметров и режимов определяется путем пробного шлифования деталей. Настройка станка на заданный размер обрабатываемой детали производится при включенном станке. При такой наладке достигается неизменность положения шлифуемой детали при поднастройке станка вызываемой необходимостью компенсировать износ шлифовального круга. Важно влияние на формирование поперечного сечения при бесцентровом шлифовании геометрических параметров наладки. Особенности процесса бесцентрового шлифования – отсутствует жесткая кинематическая связь детали с базирующими элементами станка и шлифовальным кругом, образующими упругую рабочую среду станка. Наладка станка весьма кропотливый и трудоемкий процесс. Ведущий круг совместно с опорным ножом обеспечивает базирование детали. Ведущий круг получает форму гиперболоида со смещенной горловиной, образующая которого не будет параллельна рабочей плоскости опорного ножа и оси шлифовального круга. Организацию рабочей зоны можно приближенно проверить с применением эталонного валика с диаметром равным диаметру обрабатываемой детали.
--	--

Методические принципы наладки операций проходного бесцентрового шлифования	Расчет высоты установки оси детали относительно линий центров ведется в зависимости от диаметра обрабатываемой детали и способа шлифования. В соответствии с принятым технологическим процессом обработки бесцентрово-шлифовальный станок настраивается на предварительное, чистовое или комбинированное шлифование. Высота превышения центра детали h берется в зависимости от диаметра детали по номограмме. Силами резания обеспечивается более плотное соприкосновение деталей с поверхностью опорного ножа, отчего уменьшается дрожание детали при обработке. Номограмма позволяет по известным значениям диаметра обрабатываемой детали d и диаметра ведущего круга D_v определить высоту установки оси детали над линией центров h и <u>величину смещения h_0 державки с правящим инструментом.</u>
Рекомендации по правке кругов на операциях проходного бесцентрового шлифования	Величину смещения державки с правящим инструментом устанавливают исходя из правильного положения детали в рабочей зоне. Для этого необходимо, чтобы линии контакта правящего инструмента и детали при обработке с ведущим кругом совпадали. Правка ведущего круга на однополостный гиперboloид вращения не обеспечивает линейного контакта обработанной заготовки с рабочей поверхностью ведущего круга, поэтому необходимо вводить корректировки в рассчитываемые для правки величины элементов наладки. Форма однополостного гиперboloида, получаемая при правке ведущего круга, ось которого повернута относительно траектории движения алмаза, не может обеспечить линейного контакта с обрабатываемой деталью по прямой линии. Ведущий круг получает форму гиперboloида со смещенной горловиной. Если алмаз сместить вверх, то горловина гиперboloида сместится в сторону входа детали в зону шлифования. За счет разницы скоростей вращения и соответственно скоростей осевой подачи, происходит разрыв столба шлифуемых деталей. Если алмаз сместить вниз, то гиперboloид принимает форму обратного конуса и образует подпол деталей в столбе. Точные формулы для расчета параметров настройки ведущего круга весьма громоздки и для практического применения использовать их затруднительно. Кроме того, в расчетах по этим формулам фигурируют угловые и линейные величины с точностью до минут и микрон. С такой точностью реализовать параметры наладки не представляется возможным. Ведущий круг с формой участка произвольного гиперboloида всегда можно расположить относительно прямолинейного потока обрабатываемых деталей таким образом, что его поверхность будет аппроксимировать некоторую идеальную, совпадая с ней в трех сечениях. Можно обеспечить необходимый угол и расстояние от торца круга до горловины сечения, комбинируя величины углов поворота в каждой из плоскостей. Операция правки шлифовального круга является весьма ответственной. Она определяет правильность распределения съема металла с детали при его прохождении через зону шлифования.
Методические предложения по установке опорного ножа на операциях проходного бесцентрового шлифования	Точность обработки деталей зависит от высоты h установки ножа относительно оси шлифуемого круга, правильной установки боковых направляющих планок, зазора между ножом и рабочей поверхностью шлифуемого круга. Взаимная не параллельность прокладок, основания ножа к его рабочей поверхности, а также ошибка в угле наклона клина вызывает перекос опорной поверхности ножа относительно оси шлифуемого круга. Величина угла скоса ножа зависит от диаметра детали, припуска на обработку и режима шлифования. Материал опорной поверхности ножей оказывает существенное влияние на их стойкость и качество шлифования. Высота установки ножа относительно линии центров кругов станка определяется в зависимости от: диаметра обработанной детали, угла скоса опорной поверхности ножа, высоты установки оси детали относительно центров кругов. Правильность установки опорной поверхности ножа по высоте вдоль оси шлифующего круга проверяют штангенвысотоммером, установленным на базовую плоскость крепления суппорта к каретке. При проверке правильности установки ножа по высоте положение суппорта относительно шлифующего круга должно быть неизменным, контакт детали с кругами (шлифующим и ведущим) достигается перемещением бабки ведущего круга. Установку ножа по высоте следует следующим образом. Определяют опытным путем или из руководства к станку расстояние от базовой плоскости суппорта ножа до линии центров станка h_1. Обрабатываемую заготовку устанавливают на нож и ведущий круг на выходе из зоны шлифования, затем с помощью глубиномера выставляют нож в вертикальной плоскости на требуемую высоту. Операцию повторяют со стороны входа детали в зону обработки. Первоначальное положение ножа проверяют и корректируют после правки ведущего круга.

Представленные положения и результаты их сопоставления, критического анализа и нерешенность многих теоретических вопросов до настоящего времени, позволили определить следующие узкие места в известных методах:

- требование силового замыкания при обработке заготовки, выдвигаемое в большинстве работ для обеспечения высокого качества изготовления, противоречит описанным теоретическим схемам базирования;

- не учитывается изменение диаметра обрабатываемой детали в различных сечениях в обрабатываемой зоне, что влияет на перемещение точек контакта заготовки с элементами технологического оснащения;

- в расчетных формулах для определения параметров наладки у различных авторов не учитывается либо реальный диаметр шлифовального круга, либо угол наклона опорной плоскости ножа;

- не определяется реальное место контакта детали с опорной плоскостью ножа;

- не учитывается изменение диаметра ведущего круга и угол его наклона в различных сечениях обрабатываемой зоны, что влияет на расположение точек контакта заготовки с кругами и опорной поверхностью.

Высказанные замечания и противоречия могут являться предпосылками невозможности создания с использованием существующего методического обеспечения полноценной модели, обеспечивающей определение составляющих сил взаимодействия обрабатываемой поверхности со шлифовальным, ведущим кругами и опорной поверхностью. Без этих данных остается открытым вопрос назначения рациональных режимов обработки и задания наладочных параметров при реализации технологических операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей. Как дополнительное доказательст-

во, подтверждающее высокую актуальность совершенствования методических положений, являются содержащаяся в публикациях информация об неиспользовании в практике и отсутствии доказательной апробации ряда теоретических результатов исследований.

С целью выявления реальной ситуации по использованию известных методических подходов в условиях действующих механообрабатывающих комплексов были проведены дескриптивные исследования, направленные на сбор, обобщение и систематизацию используемых в практике подходов к наладке и реализации операций проходного бесцентрового шлифования. Подтвердилась правильность приоритетного выбора в качестве исследования данной сформированной группы технологических операций по результатам выполненного кластерного анализа, так как в общей структуре рассматриваемых производств они занимают не менее 80 процентов. К машиностроительным предприятиям, на которых используется оборудование бесцентрового шлифования, преимущественно относятся заводы, выпускающие подшипники и изделия высокоточного приборостроения. Исследования проводились на предприятиях Поволжского региона и включали анализ технологической документации, сбор информации посредством интервью с работниками технологических служб и наладчиками оборудования, изучение базовых методик наладки станков; технических паспортов на оборудование и абразивные инструменты.

В табл. 2 представлена в качестве примера заполненная форма опроса наладчика, выбранная для представления в статье как, возможно, наиболее полно отражающая связь между проектными процедурами с непосредственным их исполнителем, реализующим весь комплекс известных теоретических разработок непосредственно на оборудовании.

Таблица 2

Пример заполнения информационной формы результатов опроса наладчиков операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей

НПО «АЛМАЗ» <u>Подразделение</u> – КМЦ Наладчик – П. В. Е.
<u>Оборудование</u> модель JHC – 125 (JAINNHER) производитель – TAIWAN заводской номер – 12S430Y год выпуска – 09.2010

<u>Предельные размеры используемой технологической оснастки и настроечных параметров</u>		
Шлифовальные круги – 200–400 мм.		
Ведущие круги – 100–300 мм.		
Ширина (высота) кругов 150–200 мм.		
Угол наклона опорного ножа – 30 °.		
Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости – 1.5–2°.		
<u>Особенности наладки:</u>		
– расположение оси шлифовального круга не меняется;		
– настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода с помощью двух лимбов поперечной подачи с разной точностью;		
– настройка опорной поверхности - «центр ножа» на 0.1 мм ниже центра шлифовального круга;		
– расстояние между корпусом опорного ножа и шлифовальным кругом устанавливается минимально возможным, что обеспечивает большую жесткость технологической системы;		
– между корпусом ножа и шлифовальным кругом зазор должен быть не менее 2 мм для отвода стружки;		
– настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа;		
– плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в начале калибрующей части;		
– износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 50 процентов.		
<u>Пример типовой детали:</u>		
Наименование – Ролик подшипника.		
Материал – ШХ 15 ГОСТ Р 56299–2014.		
Номинальный диаметр – 20 мм (допуск – 2 мкм).		
Припуск при окончательном шлифовании – 10 мкм.		
Длина – 25 мм.		
Шлифовальный круг – 7 305 150 120 25A 40 K 6 V 50 1, 7 305 150 120 25A 50 K 6 V 50 1.		
Ведущий круг – 14A F60 P R.		

В табл. 3 сведены полученные сведения по ряду предприятий, касающиеся индивидуальных приемов, которыми пользуются наладчики

на операциях проходного бесцентрового шлифования с указанием используемого оборудования.

Таблица 3

Результат сопоставления индивидуальных подходов к вопросам наладки и реализации технологических операций проходного бесцентрового шлифования

Организация	Оборудование	Применяемые наладчиками методы наладки бесцентрового шлифовального оборудования
НПП «АЛМАЗ» Подразделение – КМЦ	ЗВ182	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода с помощью двух лимбов поперечной подачи с разной точностью; – настройка опорной поверхности - «центр ножа» на 0.1 мм ниже центра шлифовального круга; – расстояние между корпусом опорного ножа и шлифовальным кругом устанавливается минимально возможным, что обеспечивает большую жесткость технологической системы; – между корпусом ножа и шлифовальным кругом зазор должен быть не менее 2 мм для отвода стружки; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в начале калибрующей части; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 40 процентов.

Продолжение табл. 3

Организация	Оборудование	Применяемые наладчиками методы наладки бесцентрового шлифовального оборудования
НПП «АЛМАЗ» Подразделение - КМЦ	ЖС – 125 (JAINNER)	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода с помощью двух лимбов поперечной подачи с разной точностью; – настройка опорной поверхности - «центр ножа» на 0.1 мм ниже центра шлифовального круга; – расстояние между корпусом опорного ножа и шлифовальным кругом устанавливается минимально возможным, что обеспечивает большую жесткость технологической системы; – между корпусом ножа и шлифовальным кругом зазор должен быть не менее 2 мм для отвода стружки; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в начале калибрующей части; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 50 процентов.
НПП «АЛМАЗ» Подразделение – Участок изготовления оснастки и инструмента	ЗА130	– настройка ведется за счет подачи шлифовального и ведущих кругов; – возможность поворота шлифовального круга до 3°; – настроечным параметром является расстояние между центром обрабатываемой детали и вершиной опорного ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости совпадает с передней торцевой плоскостью шлифовального круга; – износ шлифовального круга (по диаметру) может достигать 50 процентов.
«СЭПО» Подразделение – Инструментальный цех	KOENIG&BAUER / HANN&KOLB	– регулирование угла наклона ведущего круга конструкцией станка не предусмотрено; – обеспечение движение заготовки вдоль оси обеспечивается за счет правки ведущего круга, на основе опыта наладчика; – расположение оси шлифовального круга не изменяется; – ведущий круг при наладке перемещается за счет поперечной подачи; – имеется в наличии комплект опорных ножей, отличающихся высотой и шириной; – при установке опорных ножей, зазор со шлифовальным кругом – 0.05 мм; – наладка осуществляется на основе опыта оператора по пробным проходам (припуск при предварительной обработке – 0.1 мм, окончательной – 0.05 мм); – типовых настроечных параметров нет, решение принимает оператор; – допустимый износ шлифовального круга (по диаметру) – до 40 процентов.
ЕПК Саратов Подразделение Цех высокоточных подшипников (Цех № 8)	SASL 200*500 A	– угол наклона ведущего круга при переналадке не меняется; – расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – максимальный припуск – 100 мкм за проход – износ шлифовального круга (после правок) до 60%, – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга осуществляется редко, не выполняется при обработке колец подшипников разного наружного диаметра в рамках определенного диапазона; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в середине рабочей зоны; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа.

Организация	Оборудование	Применяемые наладчиками методы наладки бесцентрового шлифовального оборудования
ЕПК Саратов Подразделение Цех высокоточных подшипников (Цех № 8)	SASL5/AD	– угол наклона ведущего круга при переналадке не меняется; – расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости располагается в середине рабочей зоны; – износ шлифовального круга (после правок) до 60 %; – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга осуществляется редко, не выполняется при обработке колец подшипников разного наружного диаметра в рамках определенного диапазона. – учитывается при наладке расстояние между осями шлифовального и ведущего кругов, но установлено в каком сечении рабочей зоны.
ЕПК Саратов Подразделение Цех № 24 Участок бесцентрового шлифования	SASL 125	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – максимальный припуск – 100 мкм за проход; – износ шлифовального круга (после правок) до 60 %; – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга примерно 1 раз в месяц; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости не определяется и при наладке не учитывается; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа; – учитывается при наладке расстояние между осями шлифовального и ведущего кругов, но установлено в каком сечении рабочей зоны.
ЕПК Саратов Подразделение Цех № 24 Участок бесцентрового шлифования	SASL 200*500	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – максимальный припуск – 100 мкм за проход; – износ шлифовального круга (после правок) до 60 %; – правка шлифовального круга в среднем примерно через 2 часа работы оборудования; – правка ведущего круга примерно 1 раз в месяц; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости не определяется и при наладке не учитывается; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа; – учитывается при наладке расстояние между осями шлифовального и ведущего кругов, но установлено в каком сечении рабочей зоны.
ЕПК Саратов Подразделение Цех № 24 Отделение окончательной обработки	SASL5/AD	– расположение оси шлифовального круга не меняется; – настройки ведутся перемещением ведущего круга в горизонтальной плоскости за счет ручного подвода; – плоскость зоны обработки, в которой центры шлифовального и ведущего кругов лежат в одной горизонтальной плоскости не определяется и при наладке не учитывается; – наладка опорной поверхности ножа ведется по высоте ножа, середине опорной поверхности, расстоянии от этой точки до основания ножа.

Обобщая полученную информацию в данном аспекте можно сделать следующие заключения:

- полностью подтвердилось мнение, представленное в современных публикациях, что качество наладки бесцентрового оборудования в основном зависит от опыта и квалификации наладчиков;

- при наладке в полной мере не используются известные теоретические методики и рекомендации;

- предварительная настройка станка по рекомендованному параметру расстояния между центром заготовки и линией, соединяющей центры кругов, выполняется разнообразными способами, связанными с большими погрешностями;

- имеется значительное варьирование реальных диаметральных размеров, как ведущих, так и шлифовальных кругов, что учитывается при наладке только практическими наработками наладчиков;

- настройка опорного ножа ведется без учета реального места контакта опорной поверхности с заготовкой;

- в большинстве случаев не учитывается, в какой плоскости зоны обработки центры кругов расположены на одной горизонтальной плоскости, что не позволяет обеспечить требуемые настоящие параметры;

- во всех случаях основным способом настройки является подгонка методом шлифования пробных деталей.

Для исправления сложившейся ситуации, на основании выполненных исследований, предложена последовательность наладки проходного бесцентрового шлифования, обеспечивающая в значительной мере снижение роли перечисленных недостатков и снижающая трудоемкость выполнения процесса наладки и подналадки.

На основе зависимостей, представленных в работе [10], алгоритмов и программного обеспечения [16] по реальным данным о диаметрах кругов, заготовки и углам наклона опорной поверхности и оси ведущего круга в вертикальной плоскости, рекомендованному в нормативных материалах параметру расстояния между центром заготовки и линией, соединяющей центры кругов в горизонтальной плоскости, выполняется расчет расстояния между осями шлифовального и ведущего кругов. В случае, если оси кругов не располагаются в одной горизонтальной плоскости, – расстояние

между проекциями осей кругов на горизонтальную плоскость в рассматриваемом сечении рабочей зоны, в которой производится наладка. Данный параметр рассчитывается автоматически и легко настраивается с использованием шкалы привода ведущего круга. Расположение плоскости опорного ножа определяется на основании расчета точки контакта обрабатываемой поверхности с плоскостью [10; 17] относительно центра заготовки и осей кругов по реальным данным, описанным выше. По результатам расчета с учетом конструктивных размеров ножа рассчитывается высота вершины ножа относительно его базовой поверхности крепления с учетом рекомендаций по расстоянию между шлифовальным кругом и ножом. Данный параметр рассчитывается с использованием автоматизированных программ [18], с учетом относительного расположения осей кругов, и настраивается с использованием стандартных средств.

Предлагаемая методика полностью формализует расчет наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей и позволит сократить время настройки оборудования, что обеспечит значительное снижение трудоемкости и повышение производительности выполнения технологических операций.

Выводы

Результаты проведенного кластерного анализа позволили объективно сформировать группы продольного бесцентрового шлифования и определить множество способов обработки, входящих в каждую из этих групп, связанных с выполнением проектных процедур технологической подготовки. Группы создали возможность выявить важные объединяющие характеристики, присущие только выделенным способам обработки, и определить основные факторы, способствующие их объединению. Выполненные исследования позволили сформулировать специфические для данной группы методов обработки бесцентрового шлифования, конструкторско-компоновочные схемы оборудования и технологические условия реализации бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Анализ научных работ, в которых представлены подходы по технологическому обеспечению операций бесцентрового шлифования для рассматриваемого сформированного кластера методов обработки показал, что осново-

полагающие принципы, на которых строится современное методическое обеспечение, не позволяет выполнить формализацию процесса наладки оборудования и управление процессом, что не дает возможность получения стабильного качества и высокой производительности обработки. Данный вывод подтвержден исследованиями, проведенными на действующих машиностроительных предприятиях Поволжского региона, в производственном процессе которых применяется технология обработки заготовок бесцентровым проходным шлифованием.

В целях развития научно-методической базы технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования, на основании ранее полученных авторами результатов, предложена последовательность наладки проходного бесцентрового оборудования, обеспечивающая в значительной мере снижение роли субъективных факторов на этапе наладки. Разработанные модели, алгоритмы и программное обеспечение создают предпосылки для создания автоматизированной подсистемы, функционирующей в реальных производственных условиях и позволяющей значительно сократить трудоемкость наладки и повысить качество выполнения операций проходного бесцентрового шлифования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Суслова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
2. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 568 с.: ил.
3. Ашкиназий, Я. М. Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка / Я. М. Ашкиназий. – М. : Машиностроение, 2003. – 352 с.: ил.
4. Бочкарев, П. Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П. Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. – 2002. – № 1. – С. 10–14.
5. Малинин, П. В. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 / ВолгГТУ. – 2022. – С. 36–39.
6. Малинин, П. В. Совершенствование технологической подготовки операций бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, Л. Д. Ульянова, В. В. Ша-лунов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – № 4(64). – С. 147–160.
7. Бочкарев, П. Ю. Структуризация базы данных в САПР ТП с использованием аппарата кластерного анализа / П. Ю. Бочкарев // Вестник машиностроения, № 3. – 1999. – С. 51–55.
8. Митин, С. Г. Определение рациональных уровней отсева вариантов проектных решений в системе автоматизированного планирования технологических процессов / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев, В. В. Шалунов, И. А. Разманов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2021. – № 3 (57). – С. 48–56.
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. Группирование по технологическим признакам операций продольного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Воронежский научно-технический Вестник. – С. 61–69.
12. Слонимский, В. И. Теория и практика бесцентрового шлифования / В. И. Слонимский. – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 283 с.
13. Прохоров, А. Ф. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков / А. Ф. Прохоров, К. Н. Константинов, Л. П. Волков. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.
14. Филькин, В. П. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования / В. П. Филькин, И. Б. Колтунов. – М. : Машиностроение, 1971. – 204 с.
15. Муцянюк, В. И. Бесцентровое шлифование / В. И. Муцянюк, А. Я. Братчиков. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 96 с.
16. Малинин, П. В. Программа расчета наладочных параметров операций наружного проходного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Номер свидетельства: RU 2024617977).
17. 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.
18. Малинин, П. В. Программа определения мест контакта обрабатываемой поверхности с элементами оборудования при проходном бесцентровом шлифовании / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Номер свидетельства: RU 2024617988).

УДК 629.341

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-31-34

*В. А. Никулина, Ю. С. Багайсков***РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ
СОЕДИНЕНИЯ КАРКАСНЫХ УЗЛОВ НИЗКОПОЛЬНОГО АВТОБУСА****Волжский политехнический институт (филиал)****Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: vikikamael@mail.ru, bagaiskov@bk.ru

Основой эффективной работы автобусов является обеспечение высокой надежности. В конструкции узлов каркаса автобусов задействовано большое количество болтовых соединений, могут возникать уязвимые места, связанные как с проблемами качества производства, так и эксплуатации. Сварные соединения при этом не имеют дополнительных деталей. В результате создается практически одна целая монолитная деталь. Для сварки характерна также высокая экономичность, малая трудоемкость, сравнительная дешевизна оборудования, возможность автоматизации. Однако полностью заменять болтовые соединения сваркой тоже нецелесообразно. Исходя из схемы напряженного состояния, особенностей качества изготовления при сборке и специфики эксплуатации проведена оптимизация технологических схем соединения основных деталей каркаса низкопольного автобуса и даны предложения по распределению болтовых и сварных соединений.

Ключевые слова: автобус, надежность, безопасность, каркасные узлы, напряжения, затяжка, болтовое соединение, сварка

*V. A. Nikulina, Yu. S. Bagayskov***DEVELOPMENT OF RATIONAL TECHNOLOGICAL SCHEME
OF JOINING OF FRAME UNITS OF LOW-FLOOR BUSES****Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University**

The basis of effective operation of buses is provision of high reliability. The design of bus frame units involves a large number of bolted joints, there may be vulnerabilities associated with both production and operation quality problems. Welded joints have no additional parts. As a result, virtually one complete monolithic part is created. Welding is also characterized by high economy, low labor intensity, comparative cheapness of equipment, and the possibility of automation. However, it is not advisable to completely replace bolted connections by welding. Based on the scheme of stressed state, peculiarities of manufacturing quality during assembly and specifics of operation, optimization of technological schemes of connection of main parts of low-floor bus frame is carried out and proposals on distribution of bolted and welded connections are given.

Keywords: bus, reliability, safety, frame units, stresses, tightening, bolt connection, welding

Основой эффективной работы автобусов является обеспечение высокой надежности – способности безотказно выполнять транспортную работу с сохранением во времени установленных параметров в заданных пределах для конкретных режимов и условий эксплуатации. В конструкции каркаса автобусов задействовано большое количество болтовых соединений. Однако в таких узлах могут возникать уязвимые места, связанные как с проблемами качества производства, так и эксплуатации, в частности воздействия вибрации [1]. Изучение и выявление таких уязвимых мест является актуальной задачей, направленной на повышение качества и безопасности эксплуатации автобусов. Необходимо разработать предложения по схеме оптимального соединения каркасных узлов с применением как болтовой, так и сварочной технологии.

Болтовые соединения обеспечивают относительно простое изготовление и ремонт, обеспечивают достаточную надежность, удобство сборки-разборки; простоту конструкции, технологичность, но уязвимы к различным воздействиям и требуют регулярного контроля. Недостатки: концентрация напряжений во впадинах резьбы, низкая вибрационная стойкость (самоотвинчивание при вибрации) [2].

Сварные соединения не имеют дополнительных деталей. Соединение происходит за счет местного нагрева и диффузии (перемешивания частиц) соединяемых деталей. Создается практически одна целая монолитная деталь.

Для сварки характерна высокая экономичность, малая трудоемкость, сравнительная дешевизна оборудования, возможность автоматизации; отсутствие больших нагрузок.

Недостатки сварки состоят в том, что при низком качестве шва возникают температурные повреждения материала, кроме того, из-за неравномерности нагрева возникает коробление деталей [3].

Одной из уязвимых проблемных зон корпуса автобуса является место сочленения каркасных элементов, где наблюдается повышенная концентрация напряжений в результате действия механических нагрузок. Кроме того, использование некачественных болтов или неправильно подобранных размеров элементов соединения может привести к ослаблению конструкции и повышенному риску разрушения. На рис. 1 приведена схема напряженного состояния каркаса корпуса низкопольного автобуса с болтовыми соединениями, показаны зоны наибольших напряжений [4].

Ослабление болтового соединения вызвано следующими факторами:

– осадка – потеря предварительного натяга при выравнивании поверхностных неровностей в первые несколько часов после затяжки;

– релаксация – потеря натяга вследствие уплотнения со временем;

– ползучесть – возрастание пластической деформации, «падение» напряжений затяжки в болтах [5].

При сборке автобусов могут быть следующие несоответствия:

а) невозможность совместить отверстия двух каркасных узлов, вследствие чего болт не попадает и это место приходится заваривать;

б) при чрезмерном затягивании болта происходит деформация, что исключает его протяжку динамометрическим ключом. Для предотвращения отвинчивания или поломки болта приходится произвести сварку по контуру прилегания друг к другу каркасных узлов;

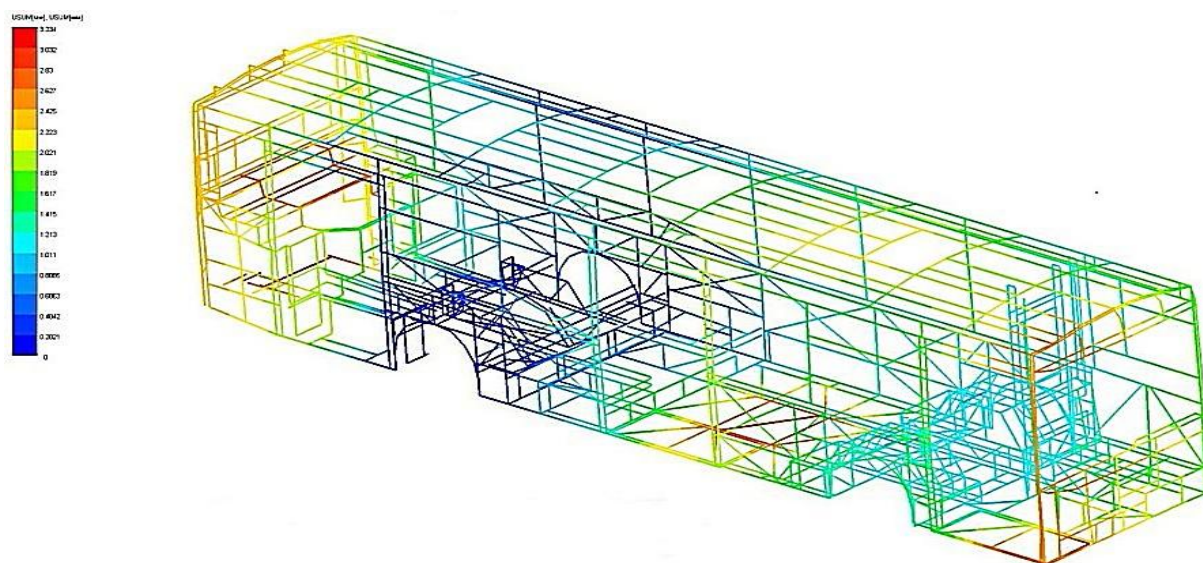


Рис. 1. Схема напряженного состояния каркаса корпуса автобуса

в) повышенный зазор между стыковыми пластинами. Прочность болтового соединения достигается путем силы трения между соединяемыми поверхностями (рис. 2). Если необходимое натяжение болтов не создать, то любые последующие нагрузки будут еще сильнее ослаблять соединение [6].

В табл. 1 приведены статистические данные, а на рис. 3 – гистограмма распределения выпуска автобусов с различными проблемными зонами.

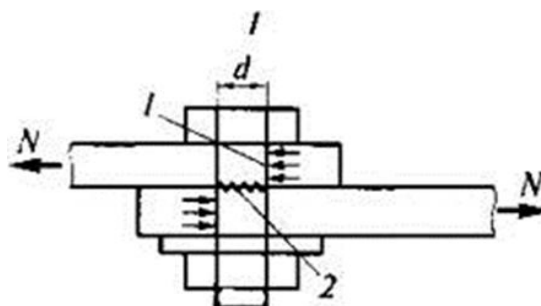


Рис. 2. Схема нагружения болтового соединения

Таблица 1

Статистические данные по выпуску автобусов с проблемными зонами

№№ п/п	Изготовленные автобусы и их проблемные зоны	Кол-во, шт.
1	Всего выпущенных автобусов (с криобаком 130)	625
2	Крепление заднего аутригера к каркасу левой боковины	388
3	Радиаторный отсек (проблемы с протяжкой)	625
4	Отсек криогенного бака	130
5	Каркас задка (проблемы с протяжкой)	625
6	Дверные проемы	418
7	Сочленение каркаса передка с левой боковиной	27
8	Стойки крепления боковин к крыше	36
9	Угловой стык каркаса левой боковины с каркасом крыши у верха стойки последнего окна	222
10	Автобусов, выполненных по КД	213

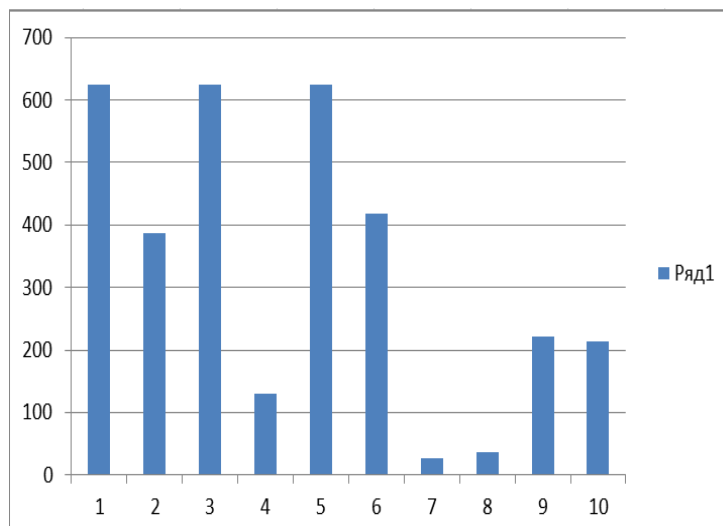


Рис. 3. Гистограмма распределения выпуска автобусов с проблемными зонами

Однако полностью отказаться от болтовых соединений считаем не целесообразным. В табл. 2 представлены места, где необходимо или рекомендуется сварное соединение. В остальных случаях можно оставить

только болтовые соединения.

В результате исследования показано, что уязвимые места при соединениях каркасных узлов автобуса болтовым способом требуют особого внимания при проектировании и эксплуатации.

Таблица 2

Предложения по введению соединений сваркой по узлам автобуса

№№ п/п	Основные узлы	Предложения по введению сварки
1	Крепление заднего аутригера к каркасу левой боковины	Необходимо
2	Отсеки радиаторный и криогенного бака	Необходимо
3	Стык каркаса задка с каркасом крыши	Необходимо
4	Дверные проемы в районе крепления каркаса правой боковины к основанию	Рекомендуемо
5	Сочленение каркаса передка с левой боковиной	Рекомендуемо
6	Стойки крепления правой и левой боковин к крыше	Рекомендуемо

Сварка позволяет создать прочное соединение без необходимости постоянной проверки и затяжки болтов, что снижает риск аварийных ситуаций и обслуживание транспортного средства.

Кроме того, сварка позволяет снизить общий вес конструкции за счет отсутствия дополнительных крепежных элементов, в целом ее применение экономичнее.

Исходя из схемы напряженного состояния, особенностей качества изготовления и специфики эксплуатации проведена оптимизация технологических схем соединения основных деталей каркаса автобуса. Даны предложения по распределению болтовых и сварных соединений в основных узлах каркаса корпуса низкопольного автобуса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов, Н. В. Техническое обслуживание и ремонт автобусов : учеб. пособие для автотранспортных техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 256 с.
2. Леденев, В. В. Расчет болтовых соединений с учетом дополнительных сил / В. В. Леденев, Т. Х. А. Тью // Строительная механика и конструкции. – 2013. – № 2 (7). – С. 80–85.
3. Ерофеев, В. В. Оценка допустимых размеров дефектов в сварных металлоконструкциях на базе использования критериев интерполяционного типа / В. В. Ерофеев, А. А. Альмухаметов, Р. Г. Шарафиев, И. Р. Сагадеев, Э. Р. Гималетдинова // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 1. – С. 63–66.
4. Smith J., Brown A. Analysis of bolted joints in bus frame structures. International Journal of Vehicle Engineering, 2024. С. 207–214.
5. Галкина, Н. С. Исследование концентрации напряжений у отверстия, нагруженного усилиями от болта / Н. С. Галкина // Ученые записки ЦАГИ. – 1981. – Т. X11, № 1.
6. Ерофеев, В. В. Разработка метода оценки допустимых размеров дефектов в статически нагруженных металлоконструкциях / В. В. Ерофеев, Р. Г. Шарафиев // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 84–88.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-34-37

В. А. Носенко, А. А. Исаева, Н. Р. Бордаков

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИМПРЕГНИРОВАНИЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Волжский политехнический институт (филиал) ВолГТУ

E-mail: vladim.nosenko2014@yandex.ru,
isaeva.fam@yandex.ru, nekit.010101@yandex.ru

В статье рассмотрены исследования эксплуатационных свойств импрегнированных шлифовальных кругов. На основании проведенных опытов получен комплексный импрегнатор, который сочетает в себе высокую реакционную и смазочную способности. Подобрана концентрация компонентов дисульфида молибдена, парафина, гексахлорпараксилола и толуола. Результаты при шлифовании по шероховатости поверхности показывают значительное снижение параметра Ra и увеличение коэффициента шлифования при применении комплексного импрегнатора.

Ключевые слова: процессы шлифования, абразивный инструмент, газообразующие соединения, смазочные материалы, комплексный импрегнатор

V. A. Nosenko, A. A. Isaeva, N. R. Bordakov

APPLICATION OF COMPLEX IMPREGNATION OF ABRASIVE TOOLS TO INCREASE ITS EFFECTIVENESS

Volzhsy Polytechnic Institute (branch) of VSTU

The article discusses studies of the properties of impregnated grinding wheels. Based on the experiments carried out, a complex impregnator was obtained that combines initial and lubricating properties. The article discusses studies of the performance properties of impregnated grinding wheels. Based on the experiments carried out, a complex impregnator was obtained, which combines high reactivity and lubricity. The concentration of the components molybdenum disulfide, paraffin, hexachloroparaxylene and toluene was selected. The results of surface roughness grinding show a significant decrease in the Ra parameter and an increase in the grinding coefficient when using a complex impregnator.

Keywords: grinding processes, abrasive tools, gas-forming compounds, lubricants, complex impregnator

Шлифование является одним из прогрессивных методов обработки металлов резанием, который обеспечивает получение высокой чистоты обработанной поверхности и точности размеров обрабатываемых деталей.

При обработке ответственных деталей из титановых и жаропрочных сплавов происходит интенсивное налипание металла на поверхность шлифовального круга, вызывающего повышение сил резания. Это приводит к увеличению износа круга, ухудшению качества обработанной поверхности, и невозможности выполнения требований к качеству изделия.

Для повышения эффективности шлифования применяют импрегнирование абразивного инструмента. В качестве импрегнаторов возможно использование различных веществ [1–5]. Эффективность воздействия импрегнатора зависит от интенсивности распада веществ, проникающей способности и активности взаимодействия с обрабатываемым материалом, которая в газовом состоянии наиболее активна [6–8].

Для обоснованного выбора импрегнатора необходимо учитывать его термодинамические и химические свойства, о чем можно судить по результатам термографического анализа в процессе нагревания вещества. На основании проведенных дериватографических исследований [9] подобрано органическое соединение с активным элементом – хлором. Основная масса газообразных продуктов, выделяется в интервале температур 380–520 °С.

Доказательством разложения импрегнатора с выделением реакционно-способных соединений хлора или самого элемента является обнаружение их непосредственно в зоне резания. Образование хлоридов металла может уменьшить адгезионное взаимодействие. Газовый анализ воздушной среды проводили газоанализатором модели ГАНК-4. Было выявлено, что с увеличением глубины шлифования в 2 раза от 0,005 до 0,01 мм/ход концентрация хлора возрастает в 2,6 раза от 0,47 до 1,2 мг/м³ [9].

При исследовании эксплуатационных показателей инструмента на режимах 0,005; 0,01 и 0,015 мм/ход средние значения составляющих сил шлифования, параметра шероховатости поверхности R_a и коэффициента шлифования K_g , примерно в 1,4 раза превосходят показатели, полученные при шлифовании обычным кругом стали ШХ15 и сплава ВТ6 [10].

В процессе шлифования рабочая поверхность круга подвергалась сильной адгезии со стороны металлов, что сильно сказывается на

показателях процесса. Для получения более высоких результатов было решено добавить в импрегнатор смазывающее вещество.

Таким образом, цель данного исследования заключается в повышении эффективности абразивного инструмента за счет применения комплексного импрегнатора на основе гексахлорпарахлорола (ГХК).

Проведя литературный анализ, выяснилось, что самым распространенным соединением для увеличения смазочных свойств является дисульфид молибдена (MoS_2), представляющий собой твердую смазку. Данное соединение не растворяется в воде, что дает возможность использовать его при обработке с СОЖ.

Частицы порошка MoS_2 имеют большой удельный вес, поэтому при добавлении их в импрегнатор на основе ГХК они оседали на дно емкости. Добавление парафина технического позволило увеличить плотность раствора, а также помогло удерживать частицы в порах круга при высыхании.

Опытным путем была подобрана концентрация всех компонентов: 10 %-ная смесь дисульфида молибдена и парафина с нагревом до 70 °С для пропитки инструмента совместно с ГХК и толуолом.

При исследовании кругов на микроскопе, определили, что дисульфид молибдена действительно остается в порах круга, на фото после импрегнирования заметны темные частицы в порах, на исходном инструменте их нет.

Импрегнирование абразивного инструмента реализуется следующим образом: ГХК растворяют при комнатной температуре в толуоле в диапазоне 8–10 % от массы растворителя. Парафин технический нагревают до температуры 60–70 °С и добавляют порошок дисульфида молибдена. Далее соединяют обе смеси, хорошо перемешивают, в полученный раствор опускают предварительно прогретый до температуры 60–70 °С абразивный инструмент.

На основании проведенных опытов, получен комплексный импрегнатор, который сочетает в себе высокую реакционную и смазочную способности.

Введение данного импрегнатора также оказало положительное влияние на структуру инструмента: повысилась твердость и снизилась неустойчивость. Твердость оценивали с помощью скорости звука, проходящей через круг на приборе Звук 110М. В среднем скорость звука кругов из электрокорунда белого и карбида кремния зеленого увеличилась соот-

ветственно на 12 и 6 %, а неуравновешенная масса снизилась в среднем на 26 %.

Для оценки эффективности полученного импрегнатора были проведены исследования основных параметров процесса на операции плоского врезного шлифования сплава ВТ6 кругом 64CF60K7V на прецизионном профилешлифовальном станке с ЧПУ CHEVALIER модели Smart-B1224III. Режимы, выбранные для проведения экспериментов представлены в таблице.

С помощью измерительного комплекса Amti MC36-1000UP фиксировали изменение составляющих силы шлифования P_z и P_y . Для измерения параметра Ra применяли прибор сейтроник, для K_g -индикатором МИГ с ценой деления 0,001 мм.

Режимы резания

v , м/с	v_s , м/мин	t , мм/ход		
		0,005		0,01
		СОТС	без СОТС	СОТС
30	12			

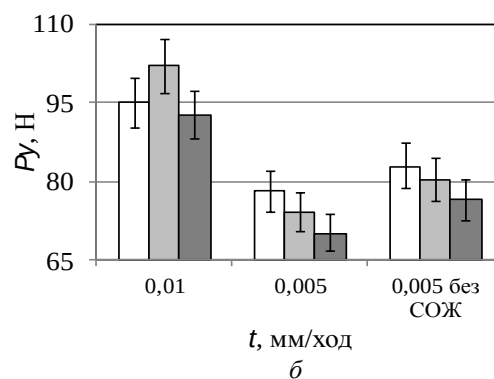
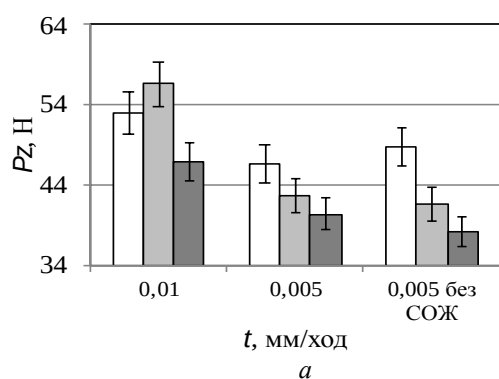


Рис. 1. Средние значения составляющих силы шлифования P_z (а) и P_y (б) при шлифовании различными кругами:
□ – базовым; ■ – ГХК; ■ – комплексным импрегнатором

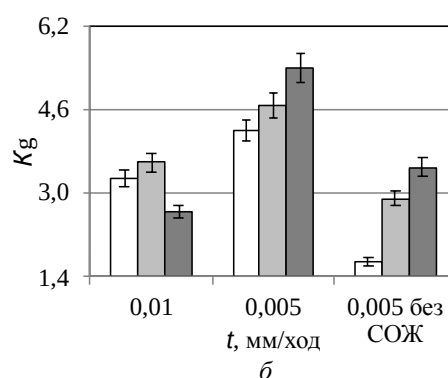
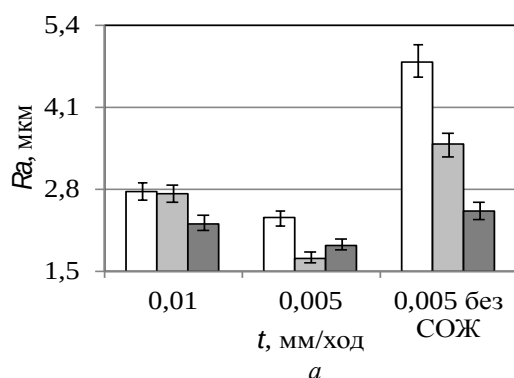


Рис. 2. Средние значения шероховатости поверхности Ra (а) и коэффициента шлифования K_g (б) при шлифовании различными кругами:
□ – базовым; ■ – ГХК; ■ – комплексным импрегнатором

Составляющие силы резания (рис. 1), полученные кругом с комплексным импрегнатором имеют тенденцию к снижению, относительно базового инструмента и импрегнатора ГХК. Но значения доверительного интервала пересекаются, следовательно полученные данные отличаются незначительно.

Результаты по шероховатости поверхности показывают значительное снижение параметра Ra (рис. 2, а), полученного с применением комплексного импрегнатора. При шлифовании с подачей 0,005 мм/ход без использования СОЖ параметр Ra снижается почти в два раза, по сравнению с базовым кругом и в 1,4 раза по сравнению с кругом, импрегнированным ГХК.

Коэффициент шлифования на этом же режиме возрастает в 2 раза относительно базового инструмента (рис. 2, б) и в 1,2 раза относительно круга, импрегнированного ГХК. Такая же тенденция сохраняется и на режиме с подачей 0,005 мм/ход с применением СОЖ.

После шлифования с подачей 0,01 мм/ход минимальное значение параметра R_a получено в опыте с комплексным импрегнатором. Данное значение в 1,2 раза ниже, чем в других опытах. На данном режиме износ круга увеличился, что привело к снижению K_g , в сравнении с базовым кругом.

Таким образом, полученные данные подтверждают эффективность использования предлагаемого состава при работе всухую и с охлаждением на малых подачах (0,005 мм/ход). Использование комплексного импрегнатора, содержащего гексахлорпаракилол и дисульфид молибдена, позволило повысить качество обработанной поверхности на 18–49 % относительно базового инструмента. Добавление смазочного агента, в виде дисульфида молибдена, в импрегнатор с активным компонентом ГКХ, позволило снизить износ круга, и тем самым, увеличить коэффициент шлифования на 22–51 % раза по сравнению с базовым кругом. Все выше сказанное доказывает увеличение производительности шлифования комплексно импрегнированным инструментом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2047476 Российская федерация, МПК В 24 D 3/34/ Импрегнатор для шлифовальных кругов / В. В. Сердюк, Ю. Б. Куценко, А. Б. Степанов, Л. А. Ашкинази. – Оpubл. 10.11.1995.
2. Чирков, Г. В. Влияние импрегнирования шлифовального круга на качество обработки / Г. В. Чирков // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 22–23.
3. Никитин, А. В. Шлифование труднообрабатываемых материалов импрегнированными кругами как способ повышения их режущих свойств / А. В. Никитин // Инструменты и технологии. – 2010. – № 2. – С. 52–58.
4. Pat. 101791786 Impregnant for impregnated grinding wheels and application thereof in preparing impregnated grinding wheels: Cl. B 24 D 3/34/ Li Wei (CN); assignee Zhejiang University of Technology; Prior Publication Data. 29.03.10; date of patent 04.08.2010
5. Development of a micro-graphite impregnated grinding wheel / Tsai, M.-Y., Jian, S.-X. // International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 56, May 2012, Pages 94–101.
6. Пат. 2440886 Российская федерация, МПК В 24 D 3/34/ (2006. 01). Состав для пропитки абразивного инструмента / А.П. Митрофанов, В.А. Носенко, Г.М. Бутов; ВолгГТУ – Оpubл. 27.01.2012, Бюлл. № 3.
7. Пат. 2443538 Российская федерация, МПК В 24 D 3/34/ (2006. 01). Состав для пропитки абразивного инструмента / А. П. Митрофанов, В. А. Носенко, Г. М. Бутов; ВолгГТУ – Оpubл. 27.02.2012, Бюлл. № 6.
8. Пат. 2595790 Российская Федерация, МПК В24D3/34. Состав для пропитки абразивного инструмента / В. А. Носенко, А. А. Крутикова, О. М. Новопольцева, А. П. Митрофанов; ВолгГТУ. – 2016.
9. Влияние химически активных газовых сред на эксплуатационные показатели импрегнированного абразивного инструмента / В. А. Носенко, А. А. Исаева, А. А. Ших, А. В. Васильев // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 8. – С. 51–56. – DOI: 10.17513/SNT.39730.
10. Носенко, В. А. Improving abrasive tool cutting properties with the use of impregnators that emit chemically active gas media during thermal decomposition / В. А. Носенко, А. А. Крутикова // Materials Today: Proceedings. Vol. 19, part 5 : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019. – [Publisher : Elsevier], 2019. – P. 2041–2045. – doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.070>

УДК 331.101.1+621.382

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-37-42

А. В. Шатеева, А. А. Емельяненко

ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-MID-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭРГОНОМИЧНОСТИ ЗАУШНЫХ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Волгоградский государственный университет

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

Рассмотрено применение 3D-MID-технологий в качестве конструктивного и технологического факторов обеспечения эргономичности заушных слуховых аппаратов. Приведены конструктивные и функциональные особенности заушных слуховых аппаратов, позволяющие рассматривать применение 3D-MID-технологий к конструированию и изготовлению подобных устройств. Показана возможность и целесообразность применения 3D-MID-технологий для изготовления рассматриваемых устройств. Приведена последовательность конструкторских и технологических этапов производства аппаратной части заушного слухового аппарата с применением 3D-MID-технологий.

Ключевые слова: 3D-MID-технологии, эргономичность, заушный слуховой аппарат

A. V. Shateeva, A. A. Emelyanenko

PREREQUISITES FOR THE APPLICATION OF 3D-MID TECHNOLOGIES TO ENSURING THE ERGONOMICS OF BEHIND-THE-EAR HEARING AIDS

Volgograd State University

The application of 3D-MID technologies as constructive and technological factors for ensuring the ergonomics of behind-the-ear hearing aids is considered. The design and functional features of behind-the-ear hearing aids are presented, which make it possible to consider the application of 3D-MID technologies to the design and manufacture of such devices. The possibility and expediency of using 3D-MID technologies for the manufacture of the devices in question is shown. The sequence of design and technological stages of the production of the hardware of the ear hearing aid using 3D-MID technologies is given.

Keywords: 3D-MID-technologies, ergonomics, behind-the-ear hearing aid.

Технологии 3D-MID (Three-Dimensional Molded Interconnect Device – букв.: трехмерное литое монтажное основание) – современная, быстро развивающаяся концепция конструкторского проектирования и технологического обеспечения аппаратной части электронных приборов [1–3]. Суть технологии заключается в формировании изделия сложной пространственной формы, сочетающего в себе как заданные механические (корпусные, несущие, базовые) функции, так и функции электрического многопроводникового соединителя. Технологии 3D-MID позволяют получить сложную криволинейную геометрию печатных узлов (плат, микросхем) и сформировать в этих узлах на их криволинейных поверхностях токоведущие пути, в том числе многослойные. Другими словами, 3D-MID-технологии позволяют объединить электрические и механические функции в трехмерной структуре печатного узла, вывести функции печатного узла на уровень шасси, тем самым упростить состав изделия, обеспечить компактность при формировании требуемой формы изделия.

Специфика ряда приборов медицинского назначения как раз и состоит в необходимости придания их корпусной части особой формы, отвечающей анатомическим особенностям пациента. И применение 3D-MID-технологий здесь – не только способ миниатюризации аппаратной части, но и средство повышения эргономичности формы приборов, носимых пациентом и находящихся в непосредственном длительном контакте с ним. Ведь основное конструктивное противоречие носимых на теле пациента медицинских приборов – необходимость компактного размещения составных частей прибора и интегрирующего их печатного узла в корпусе наименьших размеров при том, что печатный узел (плата) традиционно имеет плоскую прямоугольную одно- или многослойную форму, а корпус должен иметь плав-

ные криволинейные, в идеале – анатомические, обводы.

Заушные слуховые аппараты являются важным средством помощи людям с нарушениями слуха. Они относятся к категории аппаратов воздушной проводимости и представляют собой электроакустические устройства, которые помещаются за ушной раковиной пациента, усиливают звук и направляют его по звуководу в наружный слуховой проход. В заушном слуховом аппарате реализована общая функциональная схема слуховых аппаратов (рис. 1). Основными функциональными узлами заушного слухового аппарата являются (рис. 2):

- микрофон, принимающий звук и преобразующий его в электрический сигнал;
- усилитель, принимающий сигнал от микрофона и посылающий его затем в ресивер;
- ресивер (звукоизлучатель, телефон), преобразующий электрический сигнал в звук и посылающий его через звуковод и ушной вкладыш в наружный слуховой проход;
- регулятор громкости (элемент управления);
- элемент питания (батарейный отсек);
- звуковод и ушной вкладыш, служащие каналом для передачи звука в наружный слуховой проход.

Основной проблемой производства заушных слуховых аппаратов является необходимость компактного размещения перечисленных составных частей (кроме звуковода и вкладыша) и интегрирующего их печатного узла в корпусе наименьших размеров анатомически удобной формы. Примеры заушных слуховых аппаратов на рис. 2 иллюстрируют, что печатный узел (плата) аппаратной части традиционно имеет плоскую прямоугольную форму и монтируется на шасси – базовую конструкцию, несущую также микрофон, усилитель, регулятор громкости (рис. 2, а, б) и телефон (рис. 2, а). Такое традиционное разделение печатного узла как элемента поверхностного

электромонтажа и шасси как механической базы аппаратной части прибора не обусловлено в данном случае задачами декомпозиции и ремонтпригодности конструкции прибора, но усложняет состав и конструкцию прибора.

Кроме того, такое разделение в конструкции аппарата печатного узла и шасси обуславливает многоэтапность технологии изготовления аппарата, увеличивает трудоемкость и затраты на его изготовление и, следовательно, цену для потребителя.

В то же время обеспечение взаимозаменяемости составных частей и автоматической собираемости аппаратов исключают возможность проектирования и изготовления индивидуальных слуховых аппаратов, обладающих индивидуальной, анатомически отвечающей пользователю, формой.

Решение проблемы видится в применении к конструированию и изготовлению заушных слуховых аппаратов 3D-MID-технологии, позволяющей объединить в одно целое печатный узел и шасси аппаратной части слухового аппарата, то есть преодолеть традиционно плоскую форму печатного узла и, тем самым, преодолеть вышеперечисленные ограничения, сделать возможным индивидуальное проектирование и изготовление слуховых аппаратов.

В этом случае печатный узел (рис. 3, б [4]) аппаратной части (рис. 3, а [4]) приобретает пространственную форму и функцию шасси устройства.

Так, в примере, проиллюстрированном рис. 3 [4], печатный узел имеет пространственную (изогнутую) форму, является двуслойным (двусторонним) с межслойными соединениями, проходящими через отверстия в монтажном основании. На печатном узле с высокой точностью позиционирования монтируются три направленных микрофона, от точности расположения которых зависит способность носителя аппарата идентифицировать направление звука.

Форма монтажного основания может корректироваться в зависимости от требуемых обводов корпуса аппаратной части, соответствующих анатомическим особенностям каждого пользователя. Процесс изготовления каждого заушного слухового аппарата в этом случае должен начинаться с корректировки обводов корпуса и формы шасси слухового аппарата применительно к анатомическим особенностям пользователя.

Эта техническая процедура может осуществляться оцифровкой слепка заушной области

пациента и копированием поверхностей цифрового слепка на прилегающие поверхности 3D-модели слухового аппарата.

В целом процесс проектирования и изготовления аппаратной части заушного слухового аппарата с применением 3D-MID-технологии можно представить в виде следующей последовательности конструкторских и технологических этапов:

1. Формулировка технических требований и ограничений, выбор материалов

Этап включает в себя определение требований к геометрии и функциональности (расположение и ориентация микрофона, расположение телефона), учет эргономики формы, жесткости и прочности конструкции. Здесь необходимо учесть возможности формирования токоведущих слоев, размещение внутренних металлических проводников или диэлектрических слоев. Производится выбор полимерного материала монтажного основания и металлического материала токоведущих слоев.

Материал монтажного основания следует выбирать из полимеров-диэлектриков, способных к аддитивному формообразованию тем или иным способом, например, фотополимеризацией или способом струйного (инжекционного) нанесения. Материалом, принятым в частности изготовителем печатного узла аппарата на рис. 3 [4], является жидкокристаллический полимер синдиотактический полистирол (sPS).

Материалом токоведущих частей обычно выбирается металл с высокой электропроводностью: медь, никель, серебро, золото. Однако применение 3D-MID-технологии позволяет расширить этот выбор до специальных токопроводящих полимеров – высоконаполненных углеродом, медью или иными проводящими наполнителями термопластов, способ нанесения которых на основание также является аддитивным.

Материалом токоведущих слоев для печатного узла аппарата на рис. 3 [4] принята медь.

2. Создание 3D-модели

Этап заключается в создании электронной 3D-модели изделия: заушного слухового аппарата, включая печатный узел – шасси аппаратной части. 3D-модель здесь является пространственным геометрическим и физическим представлением и способом визуализации изделия, определяющим состав, материал составных частей изделия и предоставляющим возможность виртуального тестирования изделия. Соз-

дание 3D-модели изделия сопровождается виртуальным тестированием с целью минимизировать корректировку проекта и доработку изделия после его изготовления и натурного тести-

рования. Подготовка электронной 3D-модели изделия осуществляется в одной из CAD-систем, таких как КОМПАС-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks и пр.



Рис. 1. Функциональная схема слухового аппарата

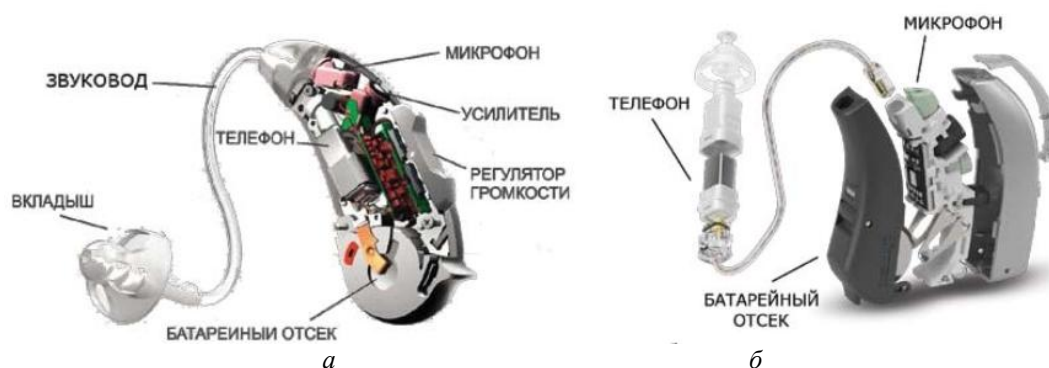


Рис. 2. Заушные слуховые аппараты:
а – традиционный; б – с выносным ресивером



а



б

Рис. 3. Составные части заушного слухового аппарата:
а – заушная (аппаратная) часть; б – монтажное основание
(1 – формообразование литьем под давлением, 2 – лазерное структурирование, 3 – металлизация)

3. Формообразование (структурирование) монтажного основания

Этап состоит в изготовлении монтажного основания – печатного узла и одновременно шасси устройства. Вариантами формообразования (в терминах 3D-MID-технологий – структурирования) монтажного основания могут быть простое литье под давлением, двухшаговое (двухстадийное) литье, литье со вставкой и специальные (защищенные на данный момент правообладателями) процессы. Каждый вид структурирования имеет несколько разновидностей (обзор процессов структурирования – см. [4]).

В качестве способа формообразования монтажного основания, приведенного на рис. 3, б [4], изготовителем принято литье под давлением. Степень миниатюризации аппарата можно представить по габаритным размерам основания: 16×4×2 мм.

В зависимости от процесса и разновидности формообразования монтажного основания этап включает в себя или завершается подготовкой поверхностей под металлизацию. В рассматриваемом примере металлизации предшествует прямое лазерное структурирование, заключающееся в удалении (абляции) путем испарения с поверхности 1...2 мкм материала и одновременной активации специальной добавки в пластике, способствующей скреплению пластика с металлическим слоем (подробнее – см. [4]).

4. Металлизация

Этап состоит в формировании на подготовленных поверхностях монтажного основания металлических или в общем случае токопроводящих слоев. Формирование металлических токопроводящих слоев возможно химическим, электролитическим и гальваническим осаждением, механическим нанесением (напылением), а также специальными (защищенными на данный момент правообладателями) способами. Выбор процессов металлизации согласуется с процессом структурирования и становится частью общего производственного процесса аддитивного, полуаддитивного или субстративного структурирования (подробнее – см. [4]).

В рассматриваемом примере металлизация состоит в химическом осаждении меди с нанесением финишного слоя [4].

Этап играет ключевую роль в создании печатного узла, поскольку должен обеспечить ка-

чественное и надежное соединение металлических слоев с полимером.

5. Сборка

Этап представляет собой сборку слухового аппарата на базе печатного узла – шасси, соединение (пайку) токопроводящих слоев печатного узла разных уровней между собой (для многослойного печатного узла) и с проводниками составных частей. Этап может быть выполнен вручную или на автоматической сборочной линии в зависимости от объема и технологической оснащенности производства.

6. Тестирование

Этап состоит из технического контроля правильности сборки и тестирования правильности работы слухового аппарата. В частности на соответствие техническим требованиям проверяются чувствительность, частотный диапазон выходного акустического сигнала, уровень звука, уровень шума и пр. В случае индивидуального изготовления производится анатомическая примерка слухового аппарата.

Сравнение по ряду эргономических критериев заушных слуховых аппаратов, изготовленных существующими способами, с аналогичными аппаратами, созданными с использованием 3D-MID-технологий, позволяет сделать следующие выводы:

1. Качество звука: поскольку применение 3D-MID-технологий позволяет выполнить кратчайшими токопроводящими путями, минимизировав тем самым наведенные помехи, то изготовленные таким способом слуховые аппараты передают звук с максимальной четкостью и минимальным уровнем шума в более широком диапазоне частот, что означает более высокое качество звука.

2. Удобство использования: компактность, миниатюризация за счет совмещения функций печатного узла и шасси в одном монтажном основании, учет индивидуальных анатомических особенностей пользователя в форме корпуса – все это обеспечивает более комфортное ношение и надежное крепление слухового аппарата.

3. Функциональность: снижение энергопотребления за счет сокращения длин проводников, возможность интеграции дополнительных функций (датчиков, светодиодов) повышает функциональность устройства.

4. Дизайн: возможность создания индивидуального и стильного дизайна устройства делает устройство более привлекательным и современным.

Все перечисленные критерии являются аспектами эргономического обеспечения этапов жизненного цикла слухового аппарата: от его проектирования до эксплуатации, и, в конечном счете, обеспечивают улучшение качества жизни человека с нарушением слуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, И. Технология 3D-MID. Новые возможности прототипирования изделий / И. Волков // *Электроника: наука, технология, бизнес*. – 2013. – № 3. – С. 170–175.
2. Кондрашин, А. А. Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств / А. А. Кондрашин, А. Н. Лямин, В. В. Слепцов. – М. : Техносфера, 2019. – 210 с.
3. Томас, Х. 3D-MID для защиты кассовых терминалов / Х. Томас // *Технологии в электронной промышленности*. – 2021. – № 5. – С. 36–37.
4. 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.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 67.02

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-43-45

А. В. Ваганов, С. С. Шемелюнас, А. М. Макаров

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ МНОГОСОПЕЛЬНЫМ ЭКСТРУДЕРОМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: usersnowman@mail.ru, whatshem@yandex.ru, ammm34@mail.ru

Описан способ многосопельной 3D-печати изделия, позволяющий повысить производительность 3D-принтеров, представлена методика и результаты исследования устройства, реализующего данный способ, подтверждающие повышение производительности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, повышение производительности, многосопельная печать

A. V. Vaganov, S. S. Shemelyunas, A. M. Makarov

RESEARCH ON IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF MANUFACTURING PRODUCTS IN 3D-PRINTING WITH A MULTI-CORE EXTRUDER

Volgograd State Technical University

The method of multi-pixel 3D-printing of a product is described, which allows to increase the productivity of 3D-printers, the methodology and results of the study of the device implementing this method are presented, confirming the increase in productivity.

Keywords: additive technologies, 3D-printing, 3D-printer, productivity improvement, multi-layer printing

В современной науке и технике аддитивные технологии являются востребованным способом производства штучных и мелкосерийных изделий. FDM/FFF технологии 3D-печати являются наиболее популярными и доступными, но имеют существенный недостаток – низкая производительность [1–2].

Для решения описанной проблемы разработан способ многосопельной 3D-печати изделия [3] и устройство для его осуществления [4].

Способ многосопельной 3D-печати изделия реализуется при использовании многосопель-

ной печатной головки (экструдера) 3D-принтера, которая экструдирует несколько пластиковых нитей для одного изделия одновременно. Сопла выполнены с возможностью перемещения относительно друг друга, а именно вращения дополнительных сопел вокруг основного.

Печать заполнения происходит выдавливанием параллельных линий материала, а изменение расстояния между линиями (в зависимости от процента заполнения) осуществляется изменением положения сопел относительно друг друга за счет поворота на определенный угол (рис. 1).

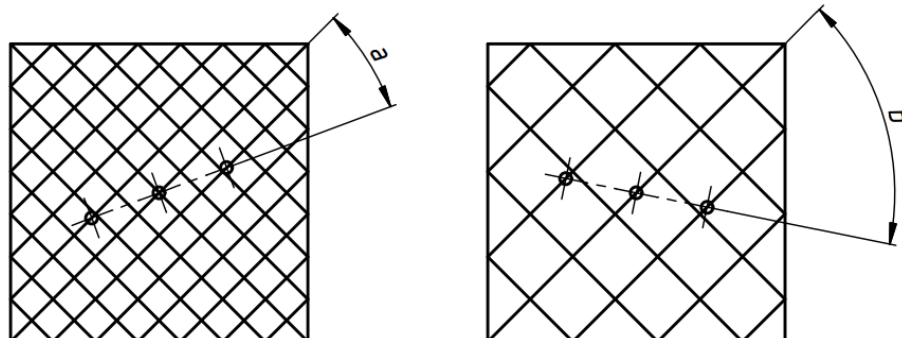


Рис. 1. Расположение сопел при печати различных заполнений

В изделиях, имеющих сложную геометрию, обычно имеются стенки, состоящие из криволинейных элементов, поэтому при печати стенок изделия сопла, в отличие от печати заполнения, должны изменять взаимное положение в течении всей печати криволинейных линий.

Для исследования возможности и эффективности 3D-печати несколькими соплами одновременно разработан многосопельный экструдер (рис. 2) [4; 5]. Данная печатающая головка имеет два сопла, расположенных на одном нагревательном блоке. Одно сопло является основным, а второе дополнительным и имеет возможность вращаться вокруг основного при помощи шагового двигателя и зубчатой передачи.



Рис. 2. Конструкция многосопельного экструдера

При исследовании возможности многосопельной печати производилось изготовление образцов двух видов. При этом использовалось два режима. Образцы представляют собой параллелепипеды двух типоразмеров: образец 1 размером 40×40×5 мм, образец 2 размером 80×80×5. Параметры печати:

- скорость печати – 60 мм/с;
- толщина слоя – 0,2 мм;
- материал – PETG двух цветов для разных сопел;
- откат материала – нет.

Пример напечатанных образцов представлен на рис. 3, а на рис. 4 представлен пример структуры слоя и заполнения напечатанных образцов.

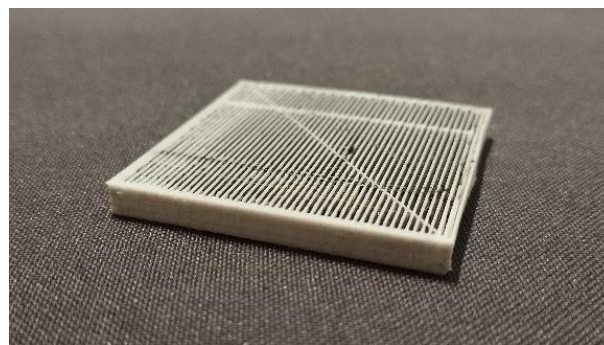


Рис. 3. Напечатанный образец «параллелепипед»



Рис. 4. Структура слоя напечатанного изделия

Первый режим печати осуществлялся при помощи одного сопла в обычном режиме стандартного 3D-принтера. Второй режим – с использованием двух сопел. Обработанные и усредненные результаты исследования приведены в таблице.

Время печати образцов

Режим	Образец тип 1	Образец тип 2
1 сопло	30 мин 50 с	117 мин 30 с
2 сопла	25 мин	77 мин 30 с

Результаты исследования показывают, что печать образцов двумя соплами показывает значительное повышение производительности изготовления изделий. Для образца типа 1 время печати уменьшилось на 18,9 %, для образца типа 2 – на 34 %. Таким образом, печать образцов с большей площадью показывает большее повышение производительности. Это обусловлено наличием холостым перемещений первого или второго сопла, когда одно из них выходит за контур изделия в момент печати другого.

Результаты исследования подтвердили эффективность способа и устройства для повышения производительности 3D-принтеров за счет использования многосопельного экструдера, осуществляющего печать несколькими соплами одновременно, и могут быть использованы при проектировании новых и модернизации существующих установок аддитивного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимуршин, Ю. Ф. Технологии быстрого прототипирования 3D-печати / Ю. Ф. Тимуршин // Наука сегодня : задачи и пути их решения : матер. междунар. науч.-практ. конф. – Вологда, 2016. – С. 38–40.

2. Торубаров, И. С. Анализ подходов к повышению производительности 3D-печати / И. С. Торубаров [и др.] // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 69–72.

3. Пат. 2797512 Российская Федерация, МПК B29C 64/106, B33Y 10/00, B29C 67/04 Способ многосопельной 3D-печати изделия / А. В. Ваганов, А. А. Шведуненко, А. М. Макаров, А. В. Малолетов ; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2023.

4. П. м. 212923 Российская Федерация, МПК B29C 64/209 [и др.]. Экструдер 3D-принтера для многосопельной печати / А. В. Ваганов, А. М. Макаров, С. С. Шемелюнас, А. А. Шведуненко ; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2022.

5. Конструкция экструдера с повышенной производительностью / А. В. Ваганов, А. М. Макаров, С. С. Шемелюнас, А. А. Шведуненко // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 38–41. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-38-41.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-45-47

Ю. В. Васильева, В. Г. Барабанов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ УЛИЦ ГОРОДА ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vasilyeva-vu@mail.ru, vbarabanov@vstu.ru

В статье представлена схема подключений пульта управления автоматизированной системы управления наружным освещением улиц города, а также электрическая принципиальная схема пульта управления. Разработан стенд на основе ПЛК WirenBoard.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, наружное освещение, пульт управления, стенд

Yu. V. Vasilyeva, V. G. Barabanov

INCREASING THE EFFICIENCY OF CITY STREET LIGHTING CONTROL BY MODERNIZING THE AUTOMATED OUTDOOR LIGHTING CONTROL SYSTEM

Volgograd State Technical University

The article presents a connection diagram for the control panel of an automated system for controlling external lighting of city streets, as well as an electrical circuit diagram of the control panel. A stand based on the Wiren Board PLC has been developed.

Keywords: automated control system, outdoor lighting, control cabinet, stand

Автоматизированные Системы Управления Наружным Освещением (АСУНО) [1] представляют собой передовые технологические решения, направленные на улучшение эффективности и управляемости систем освещения в общественных пространствах.

Пульт управления в АСУНО – это устройство, позволяющее централизованно контролировать и управлять уличным освещением в населенных пунктах. Такие системы призваны повысить энергоэффективность, снизить эксплуатационные расходы и улучшить управление наружным освещением.

Основные функции пульта управления АСУНО заключаются в:

1) включении и выключении освещения – это может быть как автоматическое управление (включение/выключение) светом по заранее установленному расписанию, так и ручное управление;

2) регулировке уровня освещения – настройке интенсивности света в зависимости от времени суток и погодных условий, уменьшении яркости в ночное время для экономии электроэнергии;

3) мониторинге и диагностике, состоящих

в контроле состояния световых приборов в реальном времени, а также диагностике неисправностей и предупреждении о необходимости технического обслуживания;

4) энергетическом учете – сборе и анализе

данных о потреблении электроэнергии и оптимизации расходов на освещение.

При проектировании пульта управления была разработана схема подключений, представленная на рис. 1.

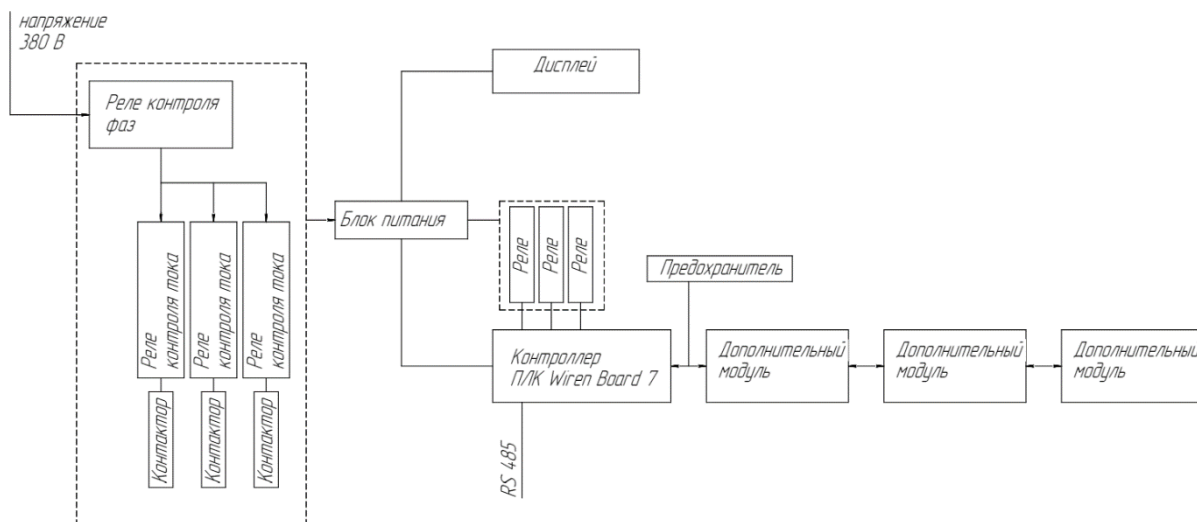


Рис. 1. Схема подключения пульта управления

Напряжение (380 В) поступает на реле контроля фаз, к которому также подключены контакторы через реле контроля тока. Реле контроля фаз (РКФ) играет ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности работы электрических систем. Оно предназначено для контроля параметров трехфазной сети и защиты оборудования от аномалий в электроснабжении.

Контакторы на схеме управления наружным освещением выполняют ключевую роль в автоматическом и ручном управлении освещением. Они являются электромагнитными реле, предназначенными для включения и отключения электрических цепей высокого напряжения и тока. Подключение контакторов происходит через реле контроля тока, предназначенным для мониторинга и защиты оборудования от перегрузок, коротких замыканий и т.д.

Далее напряжение поступает на блок питания. Блок питания на электрической схеме используется для преобразования напряжения переменного тока (AC) из сети питания в напряжение постоянного тока (DC), которое требуется для работы электронных устройств.

От блока питания запитываются дисплей, и ПЛК. Но между ПЛК и блоком питания устанавливаются промежуточные реле. Промежуточное реле в схеме выполняют следующие функции:

1. Изоляция и защита – реле предоставляют электрическую изоляцию между управляющим

сигналом (управляющий контур) и нагрузкой (нагрузочный контур), что способствует защите управляющих устройств от высоких токов и напряжений, а также уменьшает возможные помехи.

2. Усиление управляющих сигналов – реле позволяют использовать низковольтные и низкоточковые управляющие сигналы для управления нагрузками, которые могут требовать значительно большие токи или напряжения, чем управляющий сигнал.

3. Переключение высоких нагрузок – промежуточные реле обеспечивают надежное переключение высоких токов или напряжений, что делает их полезными в различных электрических и электронных системах, включая промышленные автоматизированные процессы, электропитание, управление освещением и т. д.

4. Управление временем работы – некоторые типы реле могут использоваться для задержки или тайминга операций, что позволяет регулировать время работы устройств или схем.

Контролеру (ПЛК WrenBoard 7) подключаются дополнительные модули (если того требует система) с дополнительными входами/выходами. Между контроллером и модулем должны стоять предохранитель, обеспечивающий безопасность от перепадов напряжения/тока. От контроллера выходит протокол связи RS-485.

Также была разработана электрическая принципиальная схема пульта управления.

Авторами разработан стенд на базе ПЛК WirenBoard 7 [2; 3] с подключенными к нему тремя дополнительными модулями ввода-вывода WBIO-DO-R1G-16, а также реле выбора фаз РВФ-02, реле промежуточное МРП-

2М-1 в количестве 3 штук (рис. 2), реле контроля тока РКТ-1 в количестве 3 штук, автоматический выключатель ВА9-1 С6 в количестве 3 штук и автоматический выключатель ВА9-2 В6.

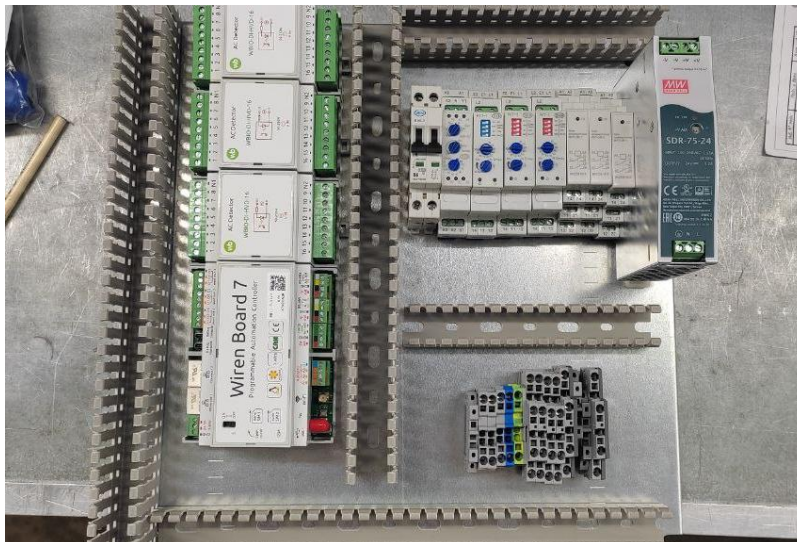


Рис. 2. Разработанный стенд на базе ПЛК WirenBoard 7

Модернизация АСУНО позволяет существенно сократить потребление электроэнергии за счет оптимизации режима работы наружного освещения. Снижение затрат на электроэнергию на 40 % приведет к значительной экономии городского бюджета.

Помимо прямой экономической выгоды, модернизация АСУНО приносит дополнительные преимущества, такие как повышение надежности и качества освещения, улучшение безопасности на улицах города, снижение эксплуатационных расходов на обслуживание светильников и снижение выбросов углекислого газа за счет уменьшения потребления электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированная система управления наружным освещением (АСУНО) [Электронный ресурс]. //Home and Industrial Automatic: Автоматика для Дома и Производства. URL: <https://yakorev.com.ru/moi-razrabotki/avtomatizirovannaja-sistema-upravlenija-naruzhnyim-osveshheniem-asuno.htm> (дата обращения: 06.02.2024).
2. Контроллер для автоматизации WirenBoard 7 [Электронный ресурс] //WirenBoard. URL: <https://wirenboard.com/ru/product/wiren-board-7/> (дата обращения: 06.02.2024).
3. WirenBoard. Обучающие видео и обзоры [Электронный ресурс] // WirenBoard 7. URL: <https://wirenboard.com/ru/pages/educational-videos/> (дата обращения: 06.02.2024).

УДК 62-791.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-47-51

Н. А. Золотых, М. Ю. Козенко, Е. А. Дьяченко, А. М. Макаров

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ FDM 3D-ПЕЧАТИ ПУТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ РАБОЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ 3D-ПРИНТЕРА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nikzol2002@gmail.com, kozenkomichael1999@yandex.ru,
zhenya.dyachenko.1999@gmail.com, amm@mail.ru

Предложен способ автоматической калибровки рабочей платформы FDM 3D-принтера на основе тензодатчика, интегрированного в печатающую головку, разработаны устройство, реализующее данный способ, и система управления этим устройством. Данный способ по сравнению с ручным позволяет повысить точность калибровки и сократить время подготовки аддитивного производства.

Ключевые слова: автоматическая калибровка, тензодатчик, печатающая головка, рабочая платформа, система управления, 3D-принтер, FDM

N. A. Zolotikh, M. Yu. Kozenko, E. A. Dyachenko, A. M. Makarov
IMPROVE THE ACCURACY OF FDM 3D-PRINTING BY AUTOMATICALLY
CALIBRATING THE WORKING PLATFORM OF THE 3D PRINTER

Volgograd State Technical University

A method for automatic calibration of the working platform of an FDM 3D-printer based on a load cell integrated into the furnace head is proposed, a device implementing this method and a control system for this device are developed. This method, compared with manual, allows to increase the accuracy of calibration and reduce the preparation time of additive manufacturing.

Keywords: automatic calibration, load cell, printhead, operating platform, control system, 3D-printer, FDM

В условиях современного аддитивного производства остро стоит задача улучшения механических характеристик изготавливаемых таким способом деталей при повышении скорости их изготовления. FDM (*Fused Deposition Modeling*) технология 3D-печати быстро развивается и находит все большее применение в различных отраслях промышленности, однако она имеет некоторые ограничения.

В процессе последовательной послойной печати деталей на рабочей платформе 3D-принтера необходимо обеспечить крепкое сцепление детали с поверхностью платформы, сохраняя при этом ее геометрическую целостность. Эффективное удержание детали обеспечивается правильным положением поверхности платформы, а именно – ее параллельностью относительно плоскости осей X и Y , по которым перемещается печатающая головка 3D-принтера. Процесс коррекции угла наклона поверхности стола в соответствии с этими осями называется калибровкой.

Своевременная калибровка рабочей платформы 3D-принтера является неотъемлемой частью процесса 3D-печати. С момента приобретения оборудования и на протяжении всего срока эксплуатации эта процедура требует времени и навыков оператора. Существующие способы калибровки [1–2] имеют недостатки, которые, как правило, связаны с необходимостью участия оператора в этом процессе.

Процедура автоматической калибровки в данном контексте не сводится к выравниванию поверхности стола в традиционном понимании. Вместо этого посредством применением датчика формируется трехмерная карта высот по всей рабочей поверхности платформы. В некоторых случаях возможна дополнительная коррекция высоты плоскости стола. После завершения процесса принтер готов к печати на поверхности с наклоном или неровностями. При использовании автокалибровки достигается эффективная адгезия пластика к столу, а также сохранение правильной геометрии

и, следовательно, точности изготавливаемого изделия, соответствующего 3D-модели.

Для реализации способа автокалибровки предложено использовать тензодатчик, где чувствительный элемент представлен тензорезистором [3]. Конструктивно такой датчик может быть представлен в виде тонкой упругой проволоки или пленки, размещенной на контролируемой поверхности.

Принцип работы тензорезистора основан на законе Гука (изменение электрического сопротивления пропорционально удлинению или сжатию сенсора по сравнению с его исходным положением). Этот принцип определяет коэффициент пропорциональности, выраженный формулой:

$$K = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta R}{R}, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности; Δl – изменение длины в процессе деформации; l – длина измеряемого элемента в неподвижном состоянии; ΔR – изменение сопротивления при деформации; R – значение сопротивления тензорезистора в исходном положении.

На практике это реализуется следующим образом: при нахождении в состоянии покоя дорожки тензорезистора имеют определенное сечение и длину проводника. Сопротивление всего резистивного элемента тензодатчика будет определяться по формуле:

$$R = (\rho \cdot l) / S, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление материала, как правило, в качестве металла с постоянным удельным сопротивлением используют константан; l – длина проводника тензодатчика; S – поперечное сечение проводника тензодатчика.

Следовательно, при удлинении тензодатчика длина проводящих дорожек увеличивается, а их поперечное сечение уменьшается, что приводит к увеличению омического сопротивления тензорезистора. В случае сжатия происходит обратный процесс: длина проводящих элементов уменьшается, а поперечное сечение увеличивается. Этот процесс приводит к уменьше-

нию сопротивления тензодатчика, что лежит в основе его принципа работы.

Разработка устройства, реализующего данный способ и исследования проводились на базе 3D-принтера A4PRO на предприятии ИП «Козенко М.Ю.».

С учетом возможности интеграции тензодатчика, как крепления рамы экструдера для выбранной кинематики 3D-принтера [4], были разработаны основные элементы конст-

рукции печатающей головки: рамка фидера и рамка экструдера (рис. 1). В процессе разработки использовались функции генеративного дизайна для экономии материалов и снижения веса печатающей головки. Данные элементы могут быть изготовлены методом *SLM* печати из нержавеющей стали, достаточно плохо проводящей тепло, это позволяет беречь критически важные элементы экструдера от перегрева.

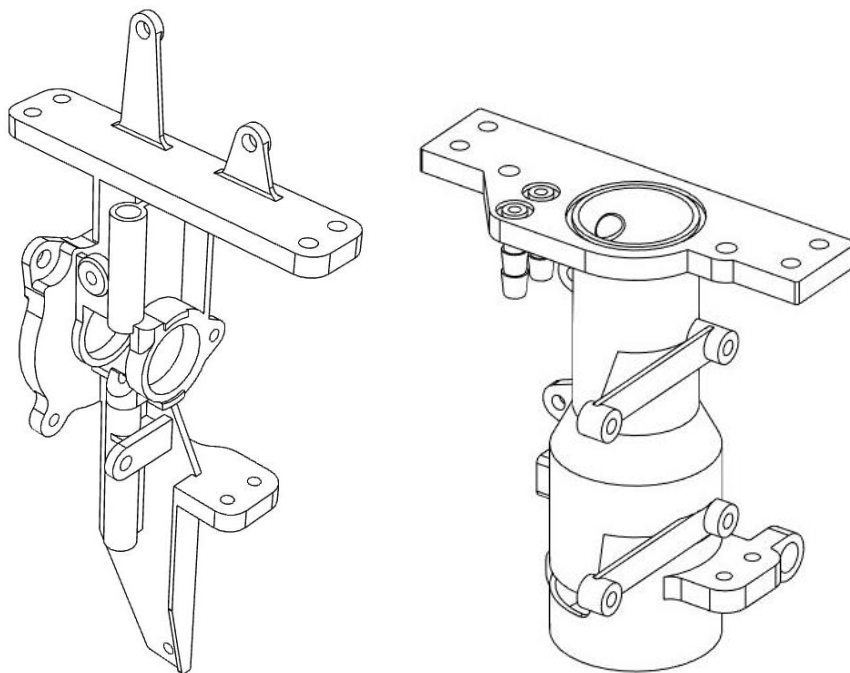


Рис. 1. Рамка фидера (слева) и рамка экструдера (справа)

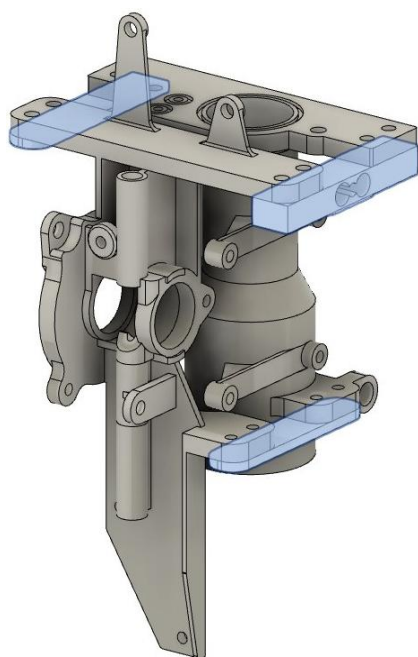


Рис. 2. Несущая конструкция печатающей головки

Крепятся между собой рамки при помощи трех элементов: верхней и нижней балки и тензодатчика. Все это образует в сборе несущую конструкцию печатающей головки, 3D-модель которой представлена на рис. 2.

Благодаря такой конструкции тензодатчик имеет только одну степень свободы (может перемещаться по вертикали при касаниях платформы соплом), что позволяет избежать ложные срабатывания и неточности при автокалибровке.

Центральным блоком, обрабатывающим всю поступающую информацию в процессе калибровки, является управляющая плата 3D-принтера. Именно на ее входы поступает информация с датчиков, сигналы, поданные оператором, а также программный код.

С блока управления обработанные сигналы подаются на входы драйверов, которые приводят во вращение шаговые двигатели. Также по завершению процесса блок управления посылает информацию в систему обратной связи – на

экране появляется сообщение о завершении процесса автокалибровки. На рис. 3 представ-

лена схема подключения некоторых элементов системы управления.

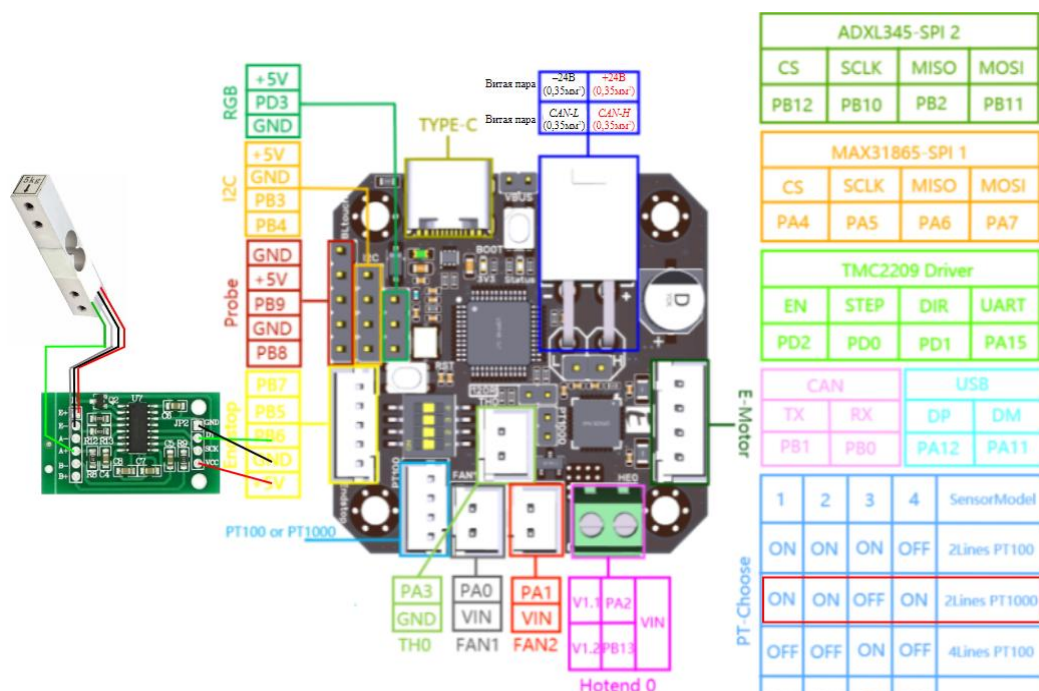


Рис. 3 Схема подключения элементов системы управления

Запуская программу автокалибровки, с управляющей платы поступают сигналы, приводящие в движение шаговые двигатели, которые двигают печатающую головку по заданному количеству точек. Подъезжая к нужной точке,

платформа поднимается и касается сопла. В этот момент тензорезисторы изменяют сопротивление, сигнал поступает в аналого-цифровой преобразователь, откуда, уже в дискретном виде, передается на расширительную плату печатаю-

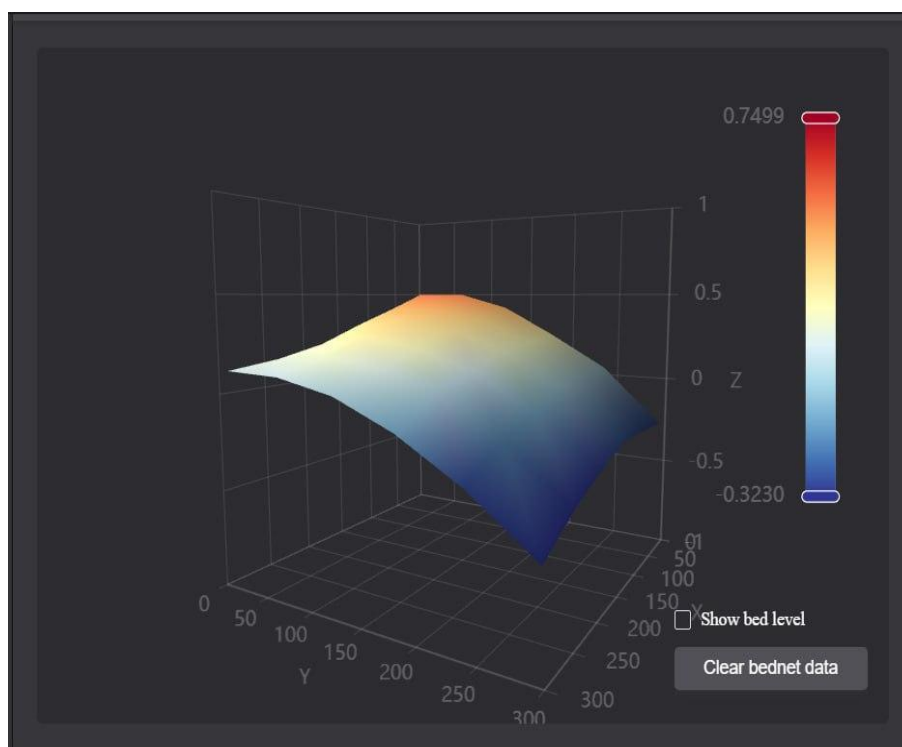


Рис. 4. Карта высот стола, полученная методом автокалибровки

шей головки, которая по протоколу CAN передает сигнал в управляющую плату, где после математических вычислений фиксируется отклонение стола от нормали. После заданного количества итераций получается карта высот (рис. 4), на основании которой управляющая плата корректирует положения платформы для обеспечения наилучшей адгезии.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке и эксплуатации систем автокалибровки рабочей платформы 3D-принтера. Предлагаемая система позволяет минимизировать вероятность человеческих ошибок, обеспечивая более стабильное и точное позиционирование печатающей головки. Это позволяет повысить точность и надежность 3D-печати, уменьшить количество брака и повысить эффективность использования оборудования и материалов. Таким образом, разрабо-

танная системы автокалибровки 3D-принтера представляет собой важный шаг в развитии индустрии аддитивного производства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калибровка стола 3D-принтера своими руками. Основные способы // ТехноПринт3D : сайт. – URL: https://tp3d.ru/index.php?route=record/record&record_id=59 (дата обращения: 20.10.23).
2. Разновидности систем автокалибровок стола 3D-принтера // 3DIY : сайт. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/raznovidnosti-sistem-avtokalibrovki-stola-3d-printera> (дата обращения: 23.10.23).
3. Мехеда, В. А. Тензометрический метод измерения деформаций : учеб. пособие / В. А. Мехеда. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
4. Анализ существующих кинематик 3D принтеров технологии FFF/FDM / Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, А. М. Макаров, А. В. Ваганов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 57–60.

УДК 621.22

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-51-54

Д. В. Кимбор, А. В. Дроботов

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МАЛОГАБАРИТНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Волгоградский государственный технический университет

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

Рассмотрены основные достоинства аддитивных технологий в производстве малогабаритных насосов. Предложена оптимизированная конструкция такого насоса, адаптированная для печати на 3D-принтере.

Ключевые слова: малогабаритный центробежный насос, аддитивные технологии и их особенности

D. V. Kimbor, A. V. Drobotov

SMALL-SIZED CENTRIFUGAL PUMP DESIGN OPTIMIZATION, TAKING INTO ACCOUNT ADDITIVE TECHNOLOGIES POSSIBILITIES

Volgograd State Technical University

The main advantages of additive technologies in the production of small pumps are considered. The optimized pump design, adapted for 3D-printing, is proposed.

Keywords: small-sized centrifugal pump, additive technologies and their features

Малогабаритные насосы – это компактные устройства, способные обеспечивать эффективное перемещение жидкости или газа в различных сферах: в промышленности и производстве, в быту и в медицине. Они нашли широкое применение во многих отраслях благодаря своей надежности и удобству использования. Их компактность позволяет экономить пространство и устанавливать их даже в ограниченных условиях. Малогабаритные насосы широко применяют в автомобильной отрасли

для подачи топлива, смазочных материалов и охлаждающих жидкостей в двигателе автомобиля, а также в омывателе стекол.

Традиционные методы производства малогабаритных насосов включают использование стандартных производственных процессов, таких как литье, обработка металла резанием и сборка из деталей. Эти методы имеют свои преимущества, такие как высокая производительность, надежность и относительно низкая стоимость серийного производства. Однако они

также имеют ограничения, такие как трудоемкость производства сложных форм в мелкосерийном производстве и дорогостоящее оборудование.

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

При адаптации конструкции для аддитивного производства нужно учитывать ограничения и недостатки этого метода производства [3]. Например, ограничения по размерам, точности, особенностям материалов, используемых для 3D-печати, и их влияние на прочность, жесткость и износостойкость деталей насоса [1].

В целом, адаптация конструкции малогабаритных насосов для производства аддитивными методами может принести значительные пре-

имущества, такие как улучшение производительности, экономия затрат и возможность инноваций в дизайне [2].

Рассмотрим адаптированный насос для аддитивного производства.

Центробежный насос 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 двигателя и уплотнительное кольцо для предотвращения попадания воды к электродвигателю [4]. Двигатель насоса питается от 5-вольтовой сети постоянного тока, имеет малые габариты.

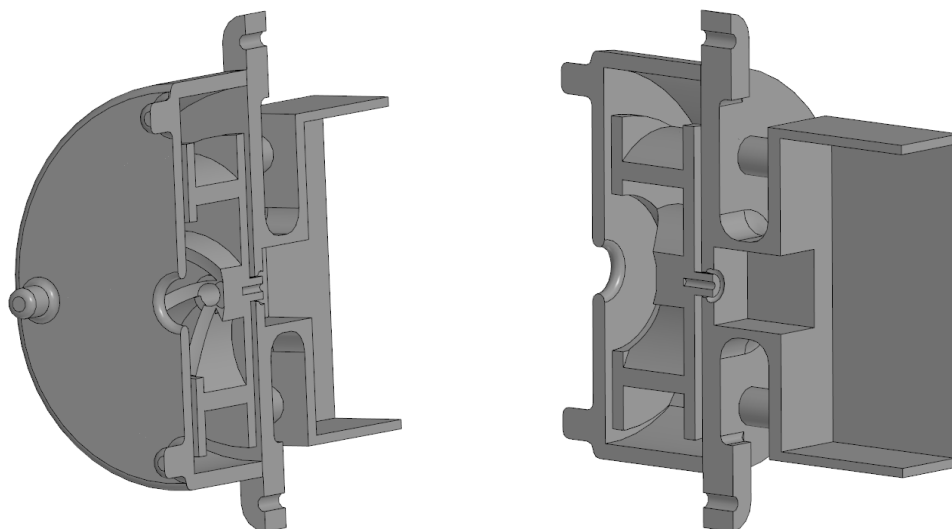


Рис. 1. Малогабаритный центробежный насос. Вид с боку в разрезе

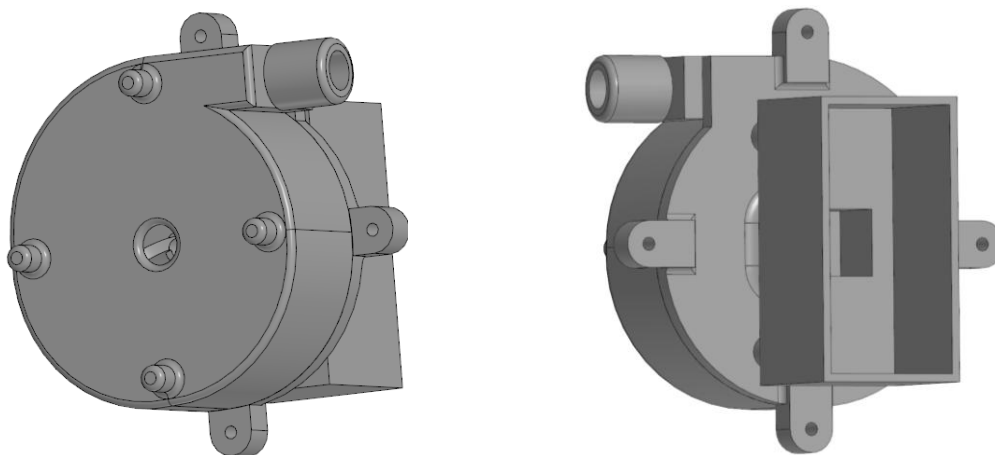


Рис. 2. Вид в сборе центробежного насоса

Рассмотрим отдельно элементы центробежного насоса. Рабочее колесо центробежного насоса является ключевым элементом, которое заставляет жидкость двигаться через насос. Оно функционирует в сложных условиях, и даже небольшая неточность в его изготовлении может привести к серьезным поломкам. Крыль-

чатка состоит из шести лопастей и двух ребер жесткости, имеющих круглую форму. Аддитивные технологии позволяют изготовить крыльчатку одной деталью, что делает ее прочнее. Так же, сложные в изготовлении лопасти печатаются без проблем и не требуют постобработки.

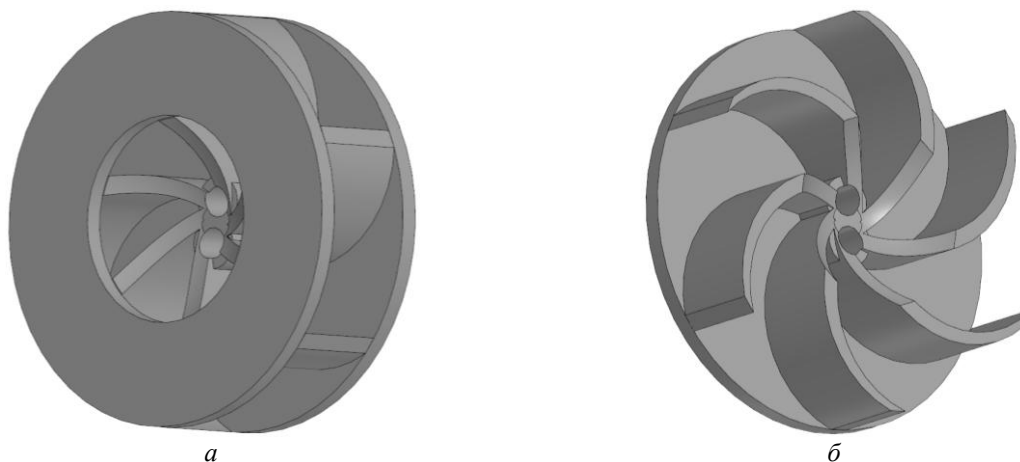


Рис. 3. Рабочее колесо центробежного насоса:
а – с верхним диском; б – без него

Корпус центробежного насоса (рис. 4, а) имеет полость для рабочего колеса, выступы для крепления, отверстие для поступления жидкости в насос, отводящую трубку, которая направляет поток жидкости из рабочей части центробежного насоса и четыре упора для установки на дне резервуара. Аддитивные технологии пропечатаывают отверстия и выступы, которые не требуют дальнейшей ручной обработки. Также корпус насоса изготавливается монолитной частью, правильная ориентация на рабочем столе 3D-принтера позволяет напечатать его с минимальными поддержками.

Задняя крышка центробежного насоса (рис. 4, б) имеет крепления с отверстиями для герметичного и жесткого соединения с корпусом. Также на ней присутствует отверстие с закругленными краями для уплотнителя. На крышке предусмотрено место для установки электродвигателя перпендикулярно оси вращения рабочего колеса. Несмотря на сложную форму, деталь печатается на 3D-принтере как монолитная конструкция.

Особенности выбора параметров 3D-печати. Одной из главных особенностей печати на 3D-принтере является возможность создания объектов практически любой формы и сложности.

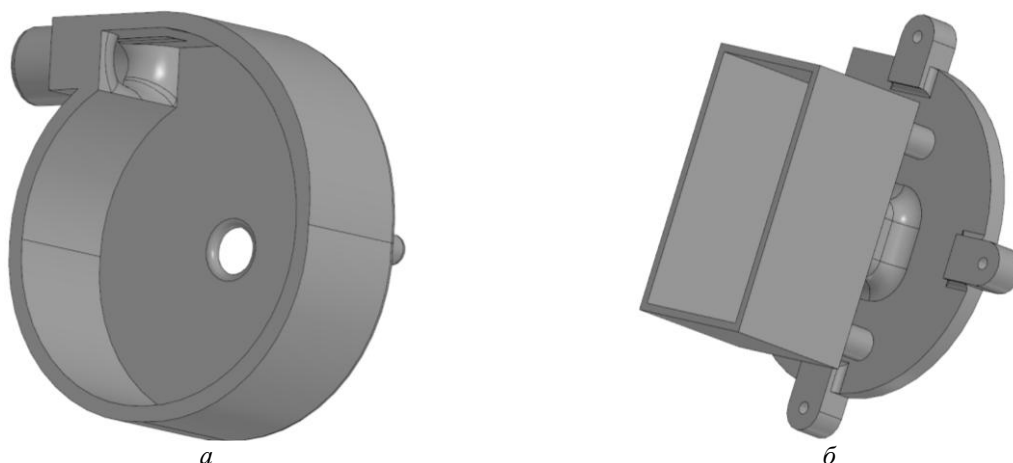


Рис. 4. Детали центробежного насоса:
а – корпус; б – задняя крышка

Технология позволяет получить детали с внутренними полостями, выступающими элементами, а также встроенными элементами крепления или трубопроводами. Это дает возможность производства сложных форм. Однако необходимо учитывать определенные ограничения печати на 3D-принтере.

При выборе материала для печати деталей нужно учитывать среду эксплуатации, устойчивость к износу, рабочие температуры. Например, для печати крыльчатки насоса был выбран материал полиамид (РА). Данный материал прочный и устойчив к износу, так же он обладает химической устойчивостью ко многим веществам.

При проектировании деталей для 3D-печати необходимо учитывать толщину тонких стенок [5]. Так, если толщина стенки составляет менее 6 диаметров сопла, применяемого для печати, то ее толщина должна быть кратна толщине используемого сопла. То есть, если используется сопло диаметром 0,4 мм, то стенки тоньше 2,6 мм должны быть кратны его размеру: 2,4, 2,0, 1,6, 1,2, 0,8 или 0,4 мм. Промежуточные значения толщины использовать не рекомендуется, так как они напечатываются с пропусками.

Важной особенностью 3D-печати являются поддержки. Они представляют собой временные конструктивные элементы, используемые для поддержки нависающих элементов объекта во время печати. Они играют важную роль в предотвращении деформаций, способствуя точности и качественного производства деталей. Поддержки позволяют создавать сложные объекты. Создание правильных поддержек требует опыта и умения разработчика. От правильного расположения поддержек зависит прочность и качество печатаемого объекта. После завершения печати следует удалить поддержки. Важно проследить, чтобы поддержка была удалена полностью, без остатков, которые

могут нарушить функциональность крыльчатки или привести к ее разрушению.

Таким образом, аддитивное производство предоставляет ряд преимуществ для производства малогабаритных насосов: гибкость, высокая точность и детализация, а также сокращение времени и затрат – все это делает 3D-печать хорошим методом для единичного и мелкосерийного изготовления качественных насосов. В будущем, с развитием технологий аддитивного производства, можно ожидать еще большего увеличения эффективности и применимости этого метода в данном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алгоритм деления объемной модели на слои для 3D-печати / И. А. Гущин, А. Р. Авдеев, А. А. Швец, А. В. Дроботов // Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2016. – Вып. 11, ч. 2. – С. 99–105.
2. Анализ способов повышения производительности устройств объемной печати для изготовления сборочных изделий / А. В. Дроботов, А. Р. Авдеев, А. А. Швец // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 11. – С. 3–6.
3. Модуль «Производство» в программном комплексе «Виртуальный 3D-принтер 1.0» / Е. А. Сеницын, О. И. Бритова, В. В. Попов [и др.] // Супервычисления и математическое моделирование : тр. XVIII междунар. конф., Саров, 23–26 мая 2022 года. – Саров : Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики – Российский федеральный ядерный центр, 2023. – С. 391–399. – DOI 10.53403/9785951505279_2023_391_399. – EDN YCWDTW.
4. Производство манжетных уплотнений поршня методами 3D- и 5D-печати / И. С. Торубаров, А. В. Дроботов, И. А. Гущин [и др.] // Аддитивные технологии: настоящее и будущее : матер. VII Междунар. конф., Москва, 07–08 октября 2021 года. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 2021. – С. 120–133. – EDN WALGTG.
5. 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 62 – 005.6

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-55-57

*В. Н. Нгуен, А. В. Дроботов***АВТОМАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ИЗНОСА СОПЛА FDM 3D-ПРИНТЕРОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: namcao7697@mail.ru, alexey.drobotov@gmail.com

Для автоматического контроля износа сопла FDM 3D-принтеров во время печати предложено устройство, способное контрактным образом измерять фактический диаметр сопла в диапазоне от 0,2 до 1,2 мм.

Ключевые слова: 3D-принтер, износ сопла, аддитивные технологии

*V. N. Nguyen, A. V. Drobotov***AUTOMATIC CONTROL METHOD OF FDM 3D-PRINTERS NOZZLE WEAR****Volgograd State Technical University**

To automatic control the FDM 3D-printer's nozzle wear during printing, a device has been proposed for contractually measuring the actual nozzle diameter in the range from 0.2 mm to 1.2 mm.

Keywords: 3D-printer, nozzle wear, additive technologies

FDM 3D-принтеры, печатающие путем экструдирования расплава полимера через сопло, широко используются в различных отраслях промышленности для создания прототипов и функциональных деталей. Однако сопла FDM принтеров подвержены износу из-за высоких температур и абразивных материалов. Системы автоматического снятия и извлечения напечатанных деталей из камеры 3D-принтера [4] делают возможным очень длительную автономную работу аддитивных установок, в процессе которой вероятен износ сопла. Конечно, сопло принтера можно менять с определенной периодичностью, но хорошие сопла с простыми материалами практически не изнашиваются. А абра-

зивные материалы (стекло- и угленаполненные пластики) могут привести к износу простого сопла за считанные часы. Сопла из закаленной стали и других специальных материалов могут достаточно долго работать с абразивными филаментами, но рано или поздно их все равно придется менять. И так как их срок службы на практике сложно предсказать, то меняют их тогда, когда на детали становится заметно ухудшение качества. Сама деталь при этом зачастую отправляется в брак. В связи с этим оперативный контроль диаметра [2] сопла – актуальная задача, позволяющая своевременно предупредить о выходе за границы допустимых значений и сохранить качество печати на заданном уровне.

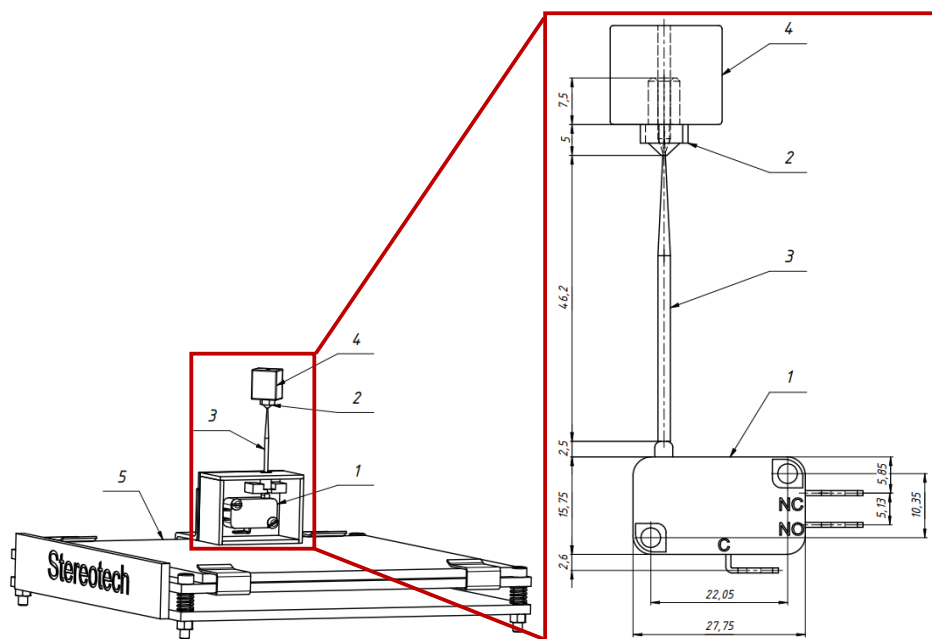
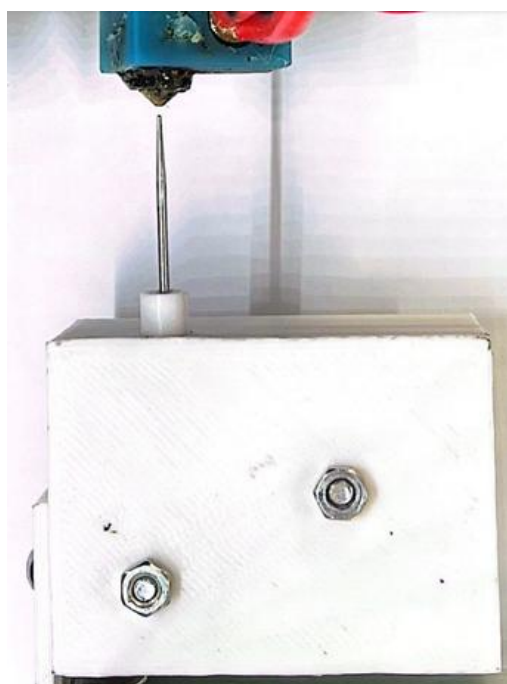
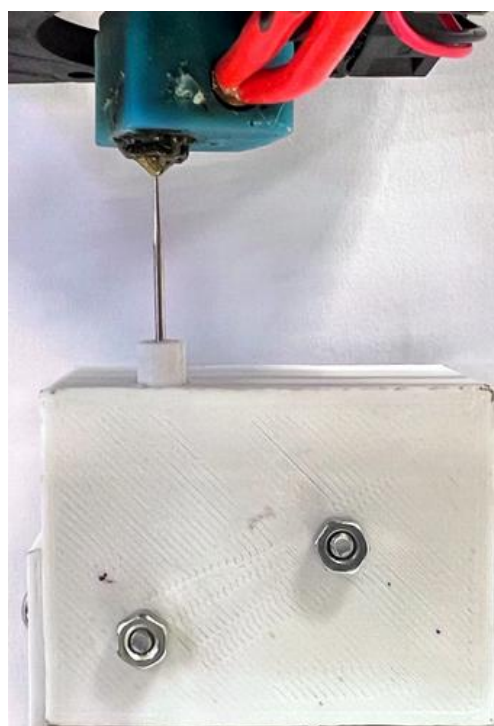


Рис. 1. Схема автоматической системы контроля диаметра сопла

Для автоматического контроля диаметра сопла FDM 3D-принтеров предложена система, схема которой смоделирована в программе Autodesk Inventor [1] и представлена на рис. 1. Она состоит из концевой выключателя 1, над которым установлена игла 3 с коническим окончанием правильной формы, которая в процессе измерения вводится в сопло 2 на печатающей головке 4. Концевой выключатель 1 установлен в корпусе, в котором предусмотрена направляющая для вертикального перемещения иглы 3.



а



б

Рис. 2. Опытный образец системы контроля диаметра сопла:
а – печатающая головка над иглой; б – игла вошла в сопло

В определенный момент времени игла 3 упирается в отверстие сопла 2 (рис. 2, б). Для дальнейшего определения диаметра d сопла сначала нужно определить угол конусности иглы. Расчетная схема для этого представлена на рис. 3.

При измерениях использованной в опытной установке иглы 3 были получены следующие числовые значения параметров:

$$d_1 = 0,42 \text{ мм}; d_2 = 1,15 \text{ мм}; L = 6,28 \text{ мм}.$$

Тогда угол α конусности можно определить из выражения:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{(d_2 - d_1)}{L} \quad (1)$$

Вся система закрепляется рядом со столом 5 3D-принтера или над ним, так чтобы сопло печатающей головки могло подвезти к игле 3.

Изготовленный опытный [3] образец предложенной системы контроля диаметра сопла FDM 3D-принтера и процесс измерения представлены на рис. 2 и 3.

В заданный момент процесса печати, или перед его началом, печатающая головка 4 становится над иглой 3 и стол 5 медленно движется вверх, игла 3 вводит в сопло 2 (рис. 2, а).

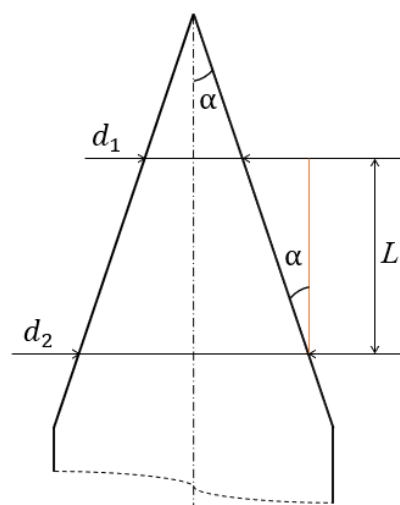


Рис. 3. Схема измерения угла α конусности иглы

$$\alpha = \arctg\left(\frac{d_2 - d_1}{2L}\right) = \arctg\left(\frac{1,15 - 0,42}{2 \cdot 6,28}\right) = \\ = \arctg\left(\frac{1,15 - 0,42}{2 \cdot 6,28}\right) = 3,32^\circ \quad (2)$$

Схема измерения диаметра сопла представлена на рис. 4.

В соответствии с рис. 4 диаметр d сопла 1 можно определить из выражения:

$$d = 2 \cdot Z \cdot \tg(\alpha), \quad (3)$$

где d – диаметр сопла, Z – глубина вхождения иглы сопло.

При использовании иглы с $\alpha = 3,32^\circ$ получается:

$$d = 0,16 \cdot Z. \quad (4)$$

Результаты расчета диаметра исходя из величины перемещения Z представлены на рис. 5.

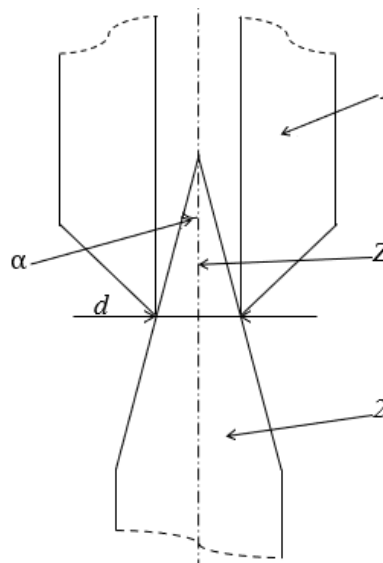


Рис. 4. Схема измерения диаметра сопла:
1 – сопло; 2 – игла

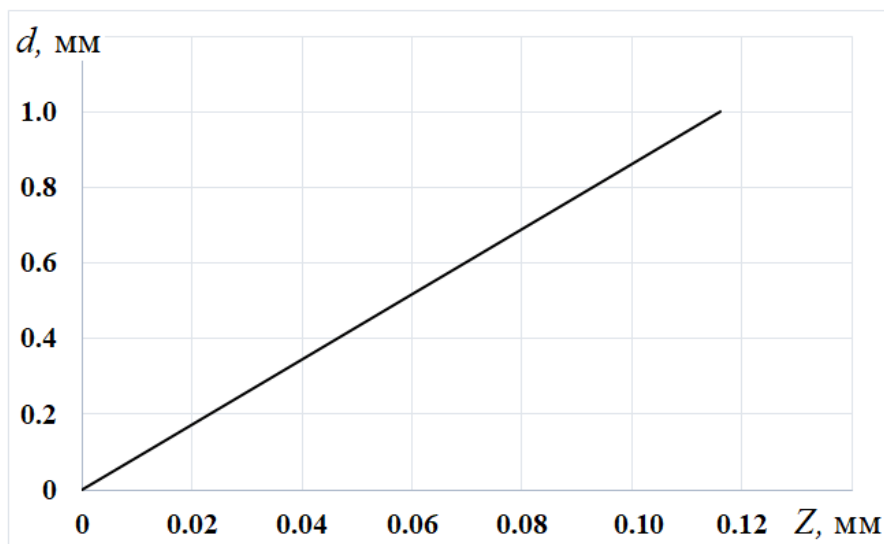


Рис. 5. Результаты измерения диаметра d исходя из величины перемещения Z

На рис. 5, видно, что с увеличением диаметра d сопла глубина Z вхождения иглы становится больше.

Таким образом, предложенный метод и конструкция для его реализации позволяют автоматически измерить диаметр сопла 3D-принтера и подать сигнал оператору на замену сопла. Это позволит сохранить качество печати на заданном уровне и снизить количество брака при печати.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корягина, О. М. Моделирование сборочных единиц и создание их чертежей в среде программы Autodesk Inventor / О. М. Корягина, С. В. Корягин // Cloud of science. 2018. №1. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/modeliro-](https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-sborochnyh-edinit-i-sozdanie-ih-chertezhey-v-srede-programmy-autodesk-inventor)

vanie-sborochnyh-edinit-i-sozdanie-ih-chertezhey-v-srede-programmy-autodesk-inventor (дата обращения: 17.06.2024).

2. Сагындыкова, Ж. М. Прибор измерения конусности отверстия / Ж. М. Сагындыкова, А. Ж. Касенов // Наука и техника Казахстана. – 2012. – № 3–4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pribor-izmereniya-konusnosti-otverstiya> (дата обращения: 17.06.2024).

3. Митин, В. Ю. Обзор оборудования, программного обеспечения, возможностей и этапов трехмерной печати / В. Ю. Митин // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2018. – № 2 (41). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-oborudovaniya-programmnogo-obespecheniya-vozmozhnostey-i-etapov-trehmerpou-pechaty> (дата обращения: 17.06.2024).

4. Шемелюнас, С. С. Автоматизация сервисных функций в FDM 3D-принтере / С. С. Шемелюнас, А. В. Дроботов, Д. В. Самойлов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3(250) / ВолгГТУ. – 2021. – С. 78–82. – DOI 10.35211/1990-5297-2021-3-250-78-82. – EDNOKQYQV.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-58-61

*А. П. Порхун, В. Г. Барабанов, М. Ю. Козенко, Е. А. Дьяченко***ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕЧАТИ 3D-ПРИНТЕРА A4PRO
ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**E-mail: sa.porkhun30@gmail.com, vbarabanov@vstu.ru, kozenkomichael1999@yandex.ru,
zhenya.dyachenko.1999@gmail.com

Проведена модернизация системы управления для 3D-принтеров повышенной производительности, и представлена структурная схема полученной автоматизированной системы.

Ключевые слова: система управления, 3D-принтер, FDM

*A. P. Porkhun, V. G. Barabanov, M. Yu. Kozenko, E. A. Dyachenko***INCREASING THE PRINTING SPEED OF THE A4PRO 3D-PRINTER
BY MODERNIZING THE CONTROL SYSTEM****Volgograd State Technical University**

The control system for 3D-printers with increased productivity was modernized and a block diagram of the resulting automated system was presented.

Keywords: control system, 3D-printer, FDM

В условиях современного аддитивного производства имеется необходимость в улучшения механических характеристик деталей при повышении скорости изготовления, создаваемых с помощью технологии *FDM (Fused Deposition Modeling)*. Эта технология быстро развивается и находит все большее применение в различных отраслях промышленности, однако она имеет некоторые ограничения. Одним из главных недостатков является относительно низкая скорость процесса печати. Она может быть заметна особенно при создании крупных или сложных деталей, требующих большого времени на производство [1; 2].

Авторами проведен анализ существующих решений и выполнена модернизация системы управления для принтера A4PRO [3]. A4PRO – это промышленные 3D-принтеры, предназначенные для эксплуатации на предприятиях. Данное оборудование предназначается для печати функциональных деталей из различных полимеров и может, например, использоваться в машиностроении для изготовления мелких серий деталей, в ремонтных мастерских для быстрого изготовления запасных комплектующих, в конструкторских бюро для изготовления прототипов, в аэрокосмической отрасли для печати деталей стойких к радиации и большой механической и температурной нагрузке и в медицинской сфере для печати биосовместимых деталей. Исследование проводилось на предприятии ИП «Козенко М. Ю.».

На рис. 1 представлена схема системы управления 3D-принтером.

Шаговые двигатели (ШД) *XUY* – используются для перемещения портала по оси *Y*, а также для перемещения первой (*X*) и второй (*U*) печатающей головки на самом портале по оси *X*.

Шаговые двигатели *Z* – используются для перемещения стола (платформы) по оси *Z*.

ARGB или *Addressable RGB* – расширенный вариант *RGB*, где можно выбирать отдельный оттенок для каждого диода. Используется для сигнализации различных состояний принтера: «Простаивает», «Печатает», «Закончил печать», «Ошибка».

CAN-bridge – это конфигурируемый *CAN/CAN* шлюз, который предназначен для соединения двух *CAN*-сетей, в том числе сетей с разными скоростями передач. Используется для подключения плат экструдеров и основной платы принтера.

CAN-модуль – используется для подключения к шине *CAN* и передачи цифровых сигналов между различными электронными узлами.

Нагреватель экструдера – керамический нагревательный элемент в металлической гильзе для плавления филамента внутри канала подачи.

Термистор экструдера – электронный компонент для получения показаний температуры нагревательного элемента хотенда.

Акселерометр – электронный компонент для получения показаний резонансов конструкции и гашения резонансных частот.

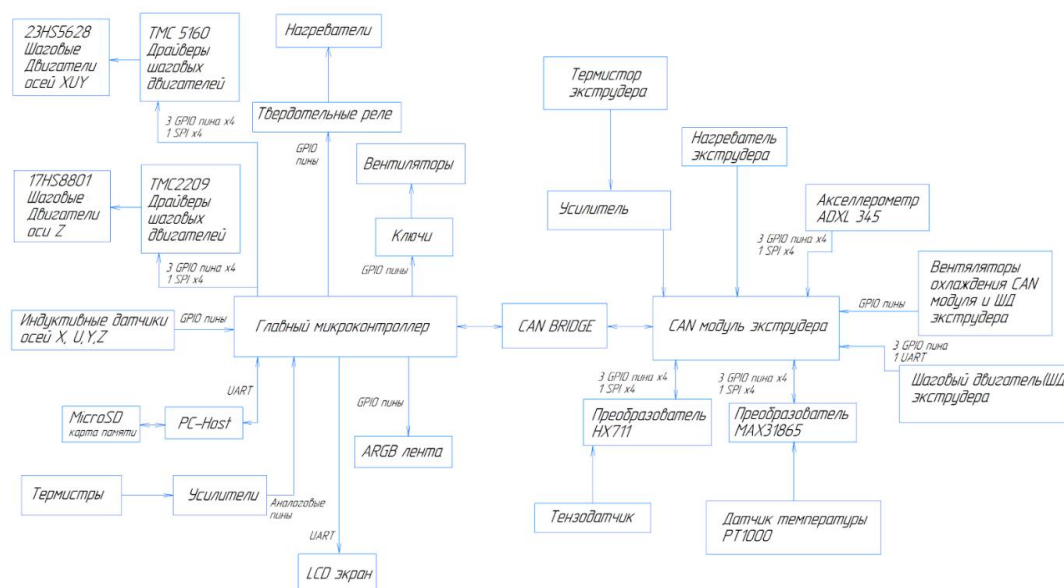


Рис. 1. Схема управления 3D-принтером

Преобразователь – преобразователь для получения показаний высокотемпературного датчика и передачи их по шине SPI CAN-контроллеру.

Шаговый двигатель экструдера – используется для подачи филамента в хотенд для дальнейшего расплава.

Для использования функционала контроллера, который может осуществлять настройку параметров драйверов шаговых двигателей посредством протокола UART, в систему интегрированы стандартные драйверы шаговых двигателей Nema 17 и Nema 23, оснащенные чипом TMC2209 и TMC5160 компании Trinamic™, что позволяет оптимально реализовать потенциал используемых технологий.

Особенностью драйверов шаговых двигателей от компании Trinamic™ является применение технологии SpreadCycle™, которая обеспечивает точное и плавное вращение моторов.

Традиционные алгоритмы управления шаговыми двигателями часто сталкиваются с ря-

дом проблем. Во-первых, плавность вращения двигателя может быть неидеальной, особенно при нарушениях в процессе калибровки, делая недостатки более выраженными. Во-вторых, коммутация обмоток может вызывать значительные электромагнитные помехи и характерные шумы, которые усугубляются при повышении рабочих частот. К тому же, увеличение частоты может приводить к возрастанию потерь энергии в системе.

В свете этих ограничений, использование алгоритма SpreadCycle™ предлагает значительные улучшения. Этот алгоритм разбивает цикл коммутации на четыре фазы: On, SD, FD и повторно SD, что позволяет более точно контролировать каждый аспект работы двигателя. Важной особенностью является возможность автоматической регулировки длительности как фазы прямого тока (On), так и фазы обратного тока (FD). Эта гибкость настройки способствует высокой степени реактивности и точности в управлении током обмотки (рис. 2).

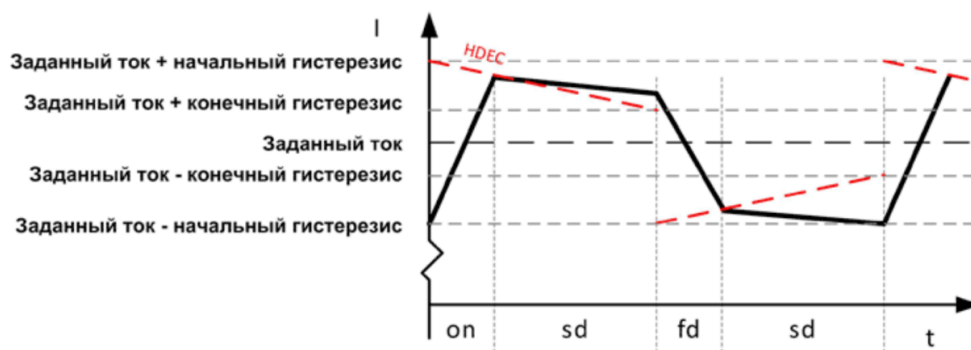


Рис. 2. Диаграмма токов при алгоритме коммутации SpreadCycle™

SpreadCycle™ имеет сразу три важных преимущества над традиционным алгоритмом: повышение плавности движения, снижение шума от двигателя, уменьшение уровня помех.

Электрическая схемасостоит изследующие модулей:

- модуль отжига включает в себя реле 20А и нагреватель модуля отжига;
- термокамера, состоящая из двух тэнов и конвенционных вентиляторов;
- модуль стола, в который входят нагреватель стола и реле 20А, подключенные в сеть через керамическую зажимную колодку.

Для защиты от короткого замыкания установлен автоматический выключатель. Для обеспечения безопасности при работе с принтером

установлена кнопка аварийного выключения, подключенная к магнитному размыкателю, который размыкает цепь питания при нажатии на нее. Все датчики устройства подключены к плате управления в соответствии с схемой распиновки.

Также было разработано программное обеспечение для управляющей платы.

Во время тестовой печати (рис. 3) принтер смог достичь скорости 100 мм/с и ускорение 4000 мм/с² при сохранении качества печати и прочностных характеристик изделий. Максимальная температура термокамеры достигла 250 °С, стола – 250 °С, экструдера – 500 °С.

В таблице приведен сравнительный анализ основных параметров улучшенной и предыдущей версий принтера.



Рис. 3. Примеры деталей, изготовленных во время тестовой печати

Сравнение параметров

Параметры	Предыдущая версия	Улучшенная версия
Максимальная температура экструдера	450 °С	550 °С
Максимальная температура подогреваемой платформы	200 °С	250 °С
Скорость печати	70 мм/с	100 мм/с
Ускорение	1500 мм/с	4000 мм/с
Максимальная температура термостатированной камеры	200 °С	250 °С
Прошивка	Marlin	Klipper
Датчик автокалибровки	Индуктивный	Тензодатчик
Тип двухэкструдерной системы	Подвижные сопла	IDEX

В результате проведенных изменений повышена скорость печати принтера, работающе-

го по технологии моделирования методом послойного наплавления, на 30 % по сравнению

с предыдущей версией без потери качества изделия, за счет использования системы управления с новой аппаратно-программной базой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валетов, В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы) : учеб. пособие / В. А. Валетов. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 63 с.

2. Шеховцов, А. А. Аддитивные технологии как способ реализации концепции бережливого производства / А. А. Шеховцов, Н. П. Карпова // Научно-методический электронный журнал «Концепт» : электронный журнал. – URL: <https://e-koncept.ru/2015/85029.htm>. – 2015. – Том 13. – С. 141–145.

3. Способы повышение скорости печати FDM / А. П. Порхун, Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, А. М. Макаров // XXVIII региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. – Волгоград : ВолгГТУ, 2023. – С. 187.

УДК 001.51:621-023

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-61-65

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Волгоградский государственный технический университет

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

В статье рассматривается применение инженерно-физического метода для автоматического регулирования подачи топлива в дизельном двигателе на этапе построения модели физического принципа действия. Полученная модель системы позволяет отображать передвижение рабочего тела в пространстве и его физическое взаимодействие во времени.

Ключевые слова: поисковое конструирование, инженерно-физический метод, модель физического принципа действия, регулятор прямого действия, дизельный двигатель

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

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF OPERATION OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM DIESEL ENGINE FUEL SUPPLY

Volgograd State Technical University

The article discusses the use of an engineering-physical method for automatically regulating fuel supply in a diesel engine at the stage of constructing a model of the physical principle of operation. The resulting model of the system allows us to display the movement of the working fluid in space and its physical interaction in time.

Keywords: search engine design, engineering-physical method, model of the physical principle of action, level controller of the floating type, diesel engine

В настоящее время конструкторы для синтеза технических решений используют определенные методы, в основе которых заложена модель физического принципа действия (ФПД): верный анализ [1]; энерго-информационный метод научно-технического творчества [2]; комбинаторный метод поиска физических принципов действия [3]. В перечисленных методах модель ФПД отображается в виде графа и показывает структуру проектируемых устройств и физические процессы, протекающие в них. Анализ этих методов показал, что наибольшую сложность представляет процесс перехода от описания ФПД к конструктивной

реализации технических систем. Особенно это касается разработки конструкции тех систем, у которых совокупность физических явлений, необходимых для их функционирования, осуществляется в разных точках пространства и зависит от времени.

В наибольшей степени эта проблема решена в инженерно-физическом методе, разработанном А. И. Половинкиным, В. А. Камаевым и А. А. Яковлевым [4]. Метод ориентирован на класс преобразователей энергии и позволяет на основе оригинальной информационной модели ФПД, характеризующей наиболее существенные свойства физических процессов, протека-

ющих в рабочем теле, определить функции элементов проектируемой системы, получить некоторое множество вариантов конструктивной реализации будущего изделия, а затем выбрать лучшие варианты с помощью ЭВМ по заданным показателям качества.

Рассмотрим применение инженерно-физического метода на этапе построения модели ФПД для системы автоматического регулирования подачи топлива в дизельном двигателе.

В качестве объекта регулирования выбран четырехтактный дизельный двигатель ЯМЗ-236. Этот двигатель представляет собой энергосиловую установку, преобразующую химическую энергию углеводородного топлива в механическую энергию.

Для общего представления об этом двигателе на рис. 1 приведен его поперечный разрез, на котором показаны основные системы и механизмы дизеля.

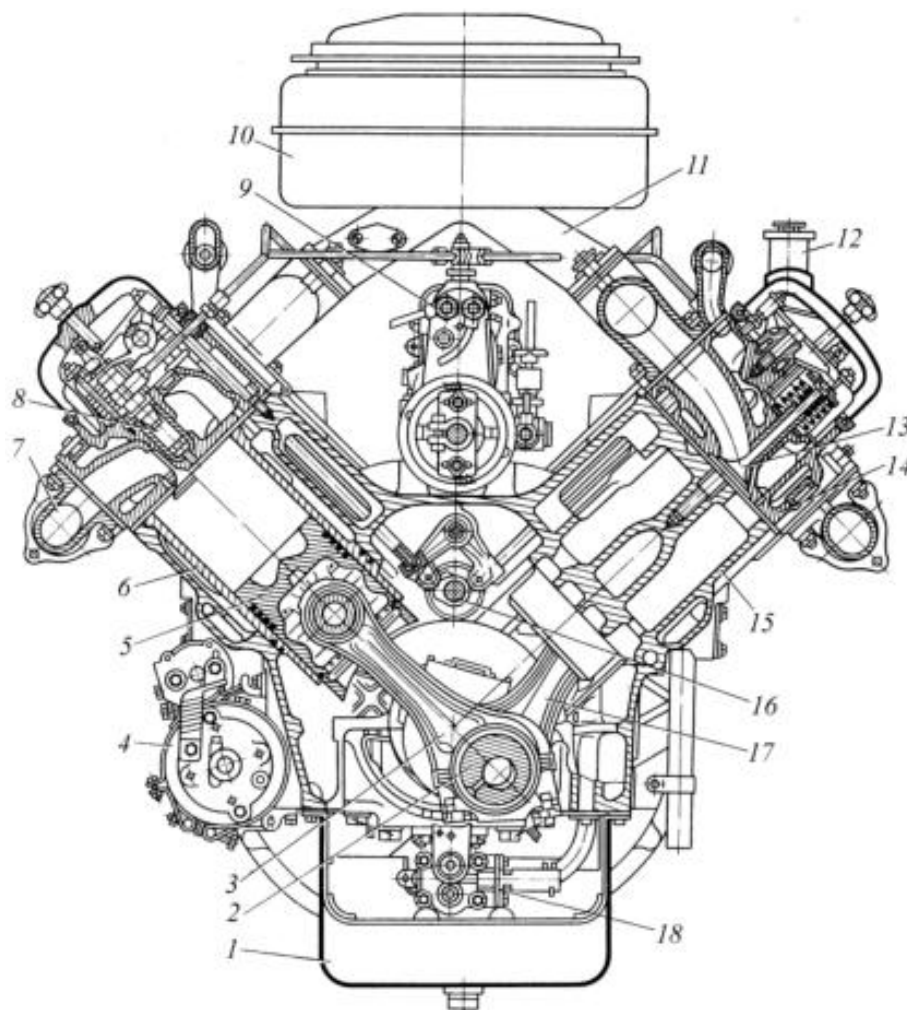


Рис. 1. Поперечный разрез двигателя ЯМЗ-236:

1 – поддон; 2 – коленчатый вал; 3 – шатун правого ряда цилиндров; 4 – стартер; 5 – поршень; 6 – гильза цилиндра; 7 – выпускной трубопровод; 8 – форсунка; 9 – топливный насос высокого давления; 10 – воздухоочиститель; 11 – переходник выпускных трубопроводов; 12 – маслозаливная горловина; 13 – выпускной клапан; 14 – головка блока; 15 – блок цилиндров; 16 – распределительный вал; 17 – шатун левого ряда цилиндров; 18 – масляный насос

Функциональная схема системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя с регулятором прямого действия представлена на рис. 2.

Объектом регулирования в нашем случае выступает дизельный двигатель. Двигатель включает несколько аналогичных по конструкции цилиндров, поэтому для разработки модели

физического принципа действия исследуется только один. Рабочим телом двигателя является смесь жидкого топлива с воздухом на начальных участках рабочего цикла, а также продукты сгорания с атмосферным азотом на остальных участках цикла. Подробно с построением модели ФПД дизельного двигателя можно познакомиться в работе [5].

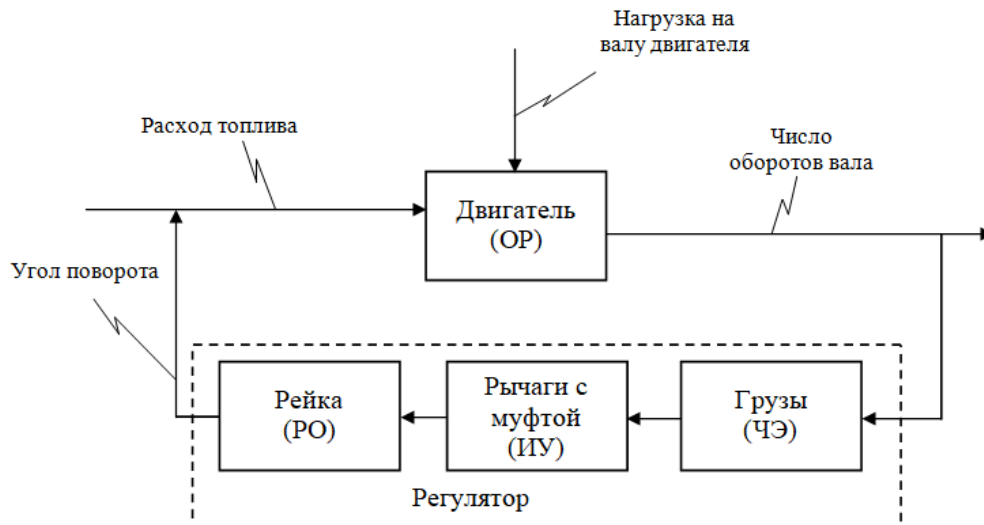


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя:
ОР – объект регулирования; РО – регулирующий орган; ИУ – исполнительное устройство;
ЧЭ – чувствительный элемент

Процесс регулирования подачи топлива в дизельном двигателе осуществляется за счет регулятора прямого действия. Структурная схема такого регулятора приведена на рис. 3.

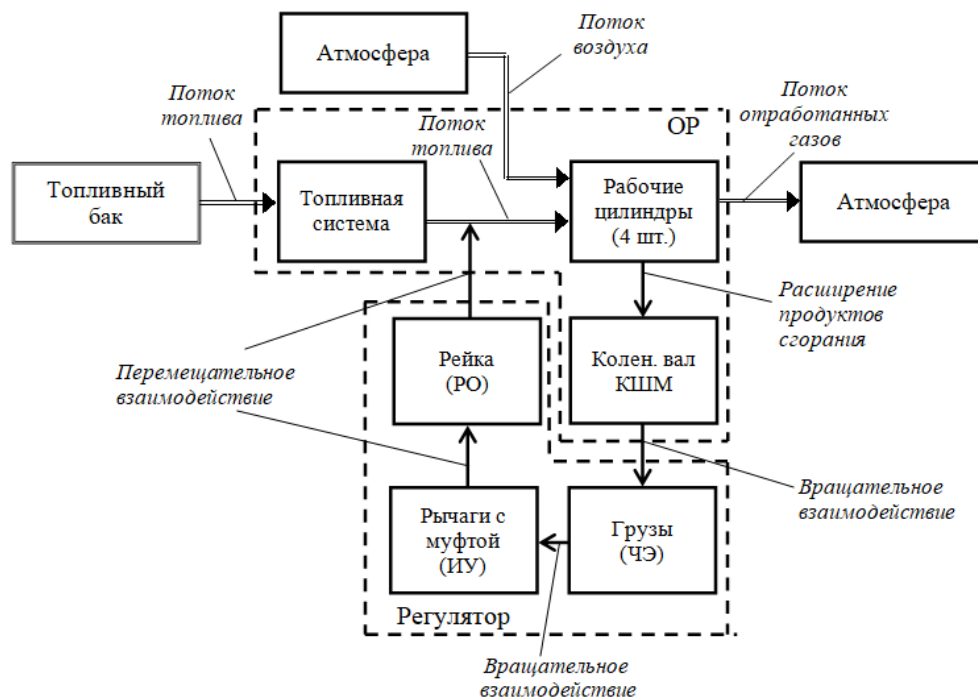


Рис. 3. Структурная схема регулятора прямого действия дизельного двигателя

На основе разработанной структурной схемы регулятора дизельного двигателя и модели ФПД самого двигателя строится модель физического принципа действия системы автомати-

ческого регулирования подачи топлива дизельного двигателя (рис. 4) [6].

Описание входящих в модель элементов изложено в таблице.

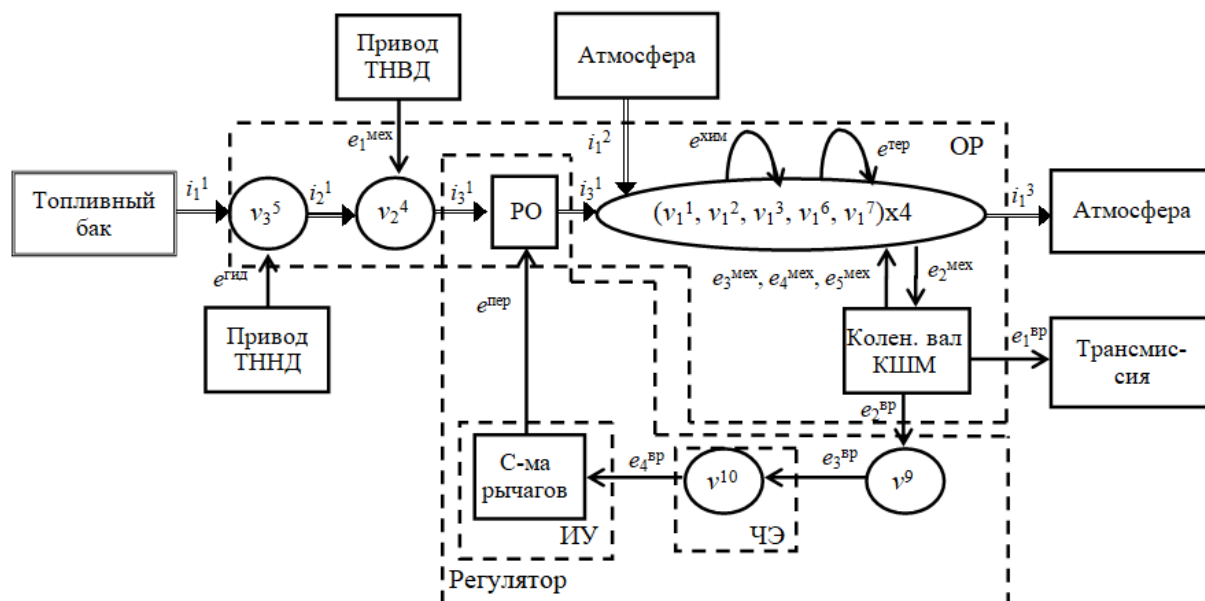


Рис. 4. Модель ФПД системы автоматического регулирования подачи топлива дизельного двигателя

Описание элементов модели ФПД дизельного двигателя

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
Колен. вал КШМ	Объект окружения	Потребитель энергии (коленчатый вал кривошипно-шатунного механизма)
Топливный бак	То же	Исток рабочего тела
Атмосфера	—//—	Исток рабочего тела
Атмосфера	—//—	Сток рабочего тела
Привод ТНВД	—//—	Привод топливного насоса высокого давления
Привод ТННД	—//—	Привод топливоподкачивающего насоса низкого давления
РО	Элемент управления	Регулирующий орган (рейка)
С-ма рычагов	То же	Исполнительное устройство (система рычагов регулятора)
v_1^1	Характерная точка	1) Смесь паров жидкого топлива с атмосферным кислородом в рабочем цилиндре двигателя; 2) газообразные продукты сгорания в рабочем цилиндре двигателя
v_1^2	То же	Расширяющиеся газообразные продукты сгорания и атмосферный азот в рабочем цилиндре двигателя
v_1^3	—//—	Воздух в рабочем цилиндре двигателя
v_1^6	—//—	Воздух при давлении ниже атмосферного в рабочем цилиндре двигателя
v_1^7	—//—	Выталкиваемые продукты сгорания в рабочем цилиндре двигателя
v_2^4	—//—	Топливо в топливном насосе высокого давления (ТНВД)
v_3^5	—//—	Топливо в топливоподкачивающем насосе низкого давления (ТННД)
v^9	—//—	Приводной вал регулятора
v^{10}	—//—	Большие и малые грузы регулятора
i_1^1	Маршрутная дуга	Поток жидкого топлива в рабочую камеру топливоподкачивающего насоса (ТННД)
i_2^1	То же	Поток жидкого топлива в камеру сжатия топливного насоса высокого давления (ТНВД)

Окончание таблицы

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
i_3^1	—//—	Поток жидкого топлива из камеры сжатия топливного насоса высокого давления в рабочий цилиндр
i_1^2	—//—	Поток воздуха в рабочий цилиндр
i_1^3	—//—	Поток отработавших газов в атмосферу
$e_{\text{хим}}$	Взаимодействие	Сгорание смеси жидкого топлива с воздухом в рабочем цилиндре двигателя
$e_{\text{тер}}$	То же	Термическое взаимодействие между продуктами сгорания и атмосферным азотом
$e_{\text{гид}}$	—//—	Проталкивание топлива по трубопроводу к насосу высокого давления
$e_1^{\text{мех}}$	—//—	Сжатие жидкого топлива
$e_2^{\text{мех}}$	—//—	Расширение продуктов сгорания и атмосферного азота
$e_3^{\text{мех}}$	—//—	Сжатие атмосферного воздуха в цилиндре
$e_4^{\text{мех}}$	—//—	Всасывание атмосферного воздуха
$e_5^{\text{мех}}$	—//—	Выталкивание продуктов сгорания
$e_1^{\text{вр}}$	—//—	Вращательное взаимодействие коленчатого вала КШМ с валом трансмиссии
$e_2^{\text{вр}}$	—//—	Передача вращения с коленчатого вала КШМ на приводной вал регулятора
$e_3^{\text{вр}}$	—//—	Вращательное взаимодействие приводного вала регулятора с грузами
$e_4^{\text{вр}}$	—//—	Вращательное взаимодействие грузов с системой рычагов регулятора
$e_{\text{пер}}$	—//—	Перемещение рейки регулятора

Разработанная модель ФПД является основой для выявления элементарных конструктивных функций системы с целью получения определенного набора функциональных элементов, с помощью которых будет сформирована матрица технических решений для дальнейшего проектирования альтернативных вариантов исполнения системы автоматического регулирования подачи топлива в дизельном двигателе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Livotov, P. Method for Formulation, Selection and Application of Elementary TRIZ Inventive Principles for Automated Idea Generation (2021) IFIP Advances in Information and Communication Technology, 635 IFIP, pp. 315-329.
2. Knowledge bases of physical effects and phenomena for method of energy- informational models by means of ontologies / V.M. Zaripova [et. al.] // Creativity in Intelligent

Technologies and Data Science. CIT&DS 2015: First Conference (Volgograd, Russia, September 15-17, 2015). – [Switzerland]: Springer International Publishing, 2015. – P. 224–237.

3. Глазунов, В. Н. Поиск принципов действия технических систем / В. Н. Глазунов. – М. : Речной транспорт, 1990. – 143 с.

4. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователей энергии : монография / А. А. Яковлев; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.

5. Яковлев, А. А. Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии : монография / А. А. Яковлев. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 128 с.

6. 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.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-66-69

*А. А. Смус, А. А. Галкина, И. М. Шандыбина, М. П. Кухтик***РАЗРАБОТКА ЛИНИИ ФАСОВКИ И УПАКОВКИ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ
С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ ТАРЫ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: smus00@list.ru, galanna1805@mail.ru, ishandybina@yandex.ru, mpkuhtik@gmail.com

В статье рассмотрена автоматизированная линия фасовки и упаковки жидких продуктов с автоматической подачей тары. Созданы 3D-модели линии в целом, а также тары и отдельных узлов линии. Описан принцип работы узла подачи тары.

Ключевые слова: фасовка, упаковка, тара, конвейер, стаканы, жидкие продукты

*A. A. Smus, A. A. Galkina, I. M. Shandybina, M. P. Kukhtik***DEVELOPMENT OF A FILLING AND PACKAGING LINE FOR
LIQUID PRODUCTS WITH AUTOMATIC CONTAINER SUPPLY****Volgograd State Technical University**

The article discusses an automated line for filling and packaging liquid products with automatic supply of containers. 3D models of the line as a whole, as well as containers and individual units of the line have been created. The operating principle of the container supply unit has been described.

Keywords: filling, packaging, containers, conveyor, glasses, liquid products

Актуальной задачей в пищевой промышленности является отказ от ручного труда в процессе производства продуктов питания и создание автоматизированных систем фасовки жидкого продукта в тару.

Для анализа существующих конструкций линий фасовки и упаковки с программным управлением был проведен патентный поиск глубиной в 17 лет и объемом в 75 патентов. В рассмотренных устройствах [1–4] перемещение тары от одного узла к другому осуществляется с помощью кареток с гнездами, причем на каждом узле установлены роботы-манипуляторы, достающие тару из этих гнезд. В таких конструкциях время производственного цикла сокращается в основном за счет усовершенствования узлов розлива продукта. При этом помещать готовое изделие в коробку для транспортировки приходится вручную, что значительно увеличивает время полного рабочего цикла.

Целью данной работы является полное исключение ручного труда и повышение производительности фасовки и упаковки жидких продуктов за счет разработки узла автоматической подачи тары, т. е. коробок на конвейер. Под повышением производительности в этом случае понимается сокращение времени, затра-

чиваемого на полный рабочий цикл с учетом фасовки и транспортировки готовых изделий потребителю.

Взятая в качестве аналога линия для фасовки и упаковки пищевых продуктов [4] содержит транспортеры, подающий и отводящий емкости, и взаимосвязанные между собой бесконечным транспортным контуром системы ополаскивания емкостей, фасовки продукта в емкости и укупорки емкостей, однако емкости ставятся на линию и убираются с нее по завершении работы вручную.

Конструкция предлагаемой автоматизированной линии фасовки и упаковки жидких продуктов [5] включает в себя четыре основных узла, расположенных на конвейерной ленте: узел подачи тары, узел фасовки стаканов, узел розлива жидких продуктов, узел запайки стаканов в автоматическом режиме. Отличительной особенностью данной линии от аналога является изменение последовательности рабочего цикла. Вместо узла упаковки стаканов, находившегося на последнем месте, добавлен узел подачи тары, располагающийся на первом месте.

В среде Blender созданы 3D-модели линии фасовки и упаковки (рис. 1), а также тары и отдельных узлов линии.

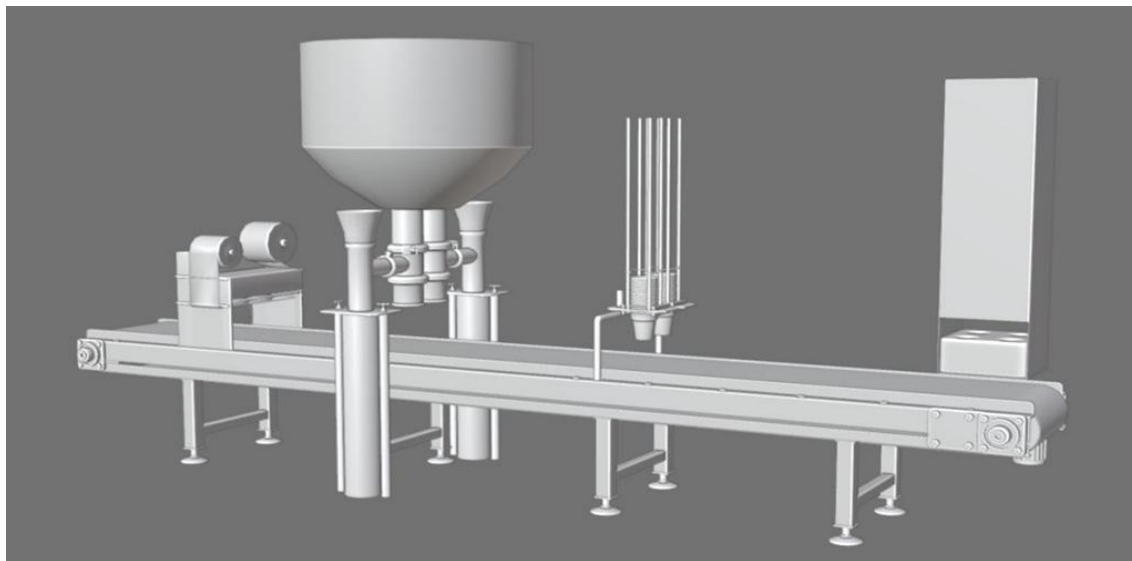


Рис. 1. Общий вид линии фасовки и упаковки жидких продуктов

Принцип работы узла подачи тары (рис. 2) заключается в следующем. Тара в виде коробки прямоугольной формы с отверстиями для установки стаканов, выполненная из папье-маше, загружается в вертикальный лоток и удерживается с помощью пары щипцов. Когда сигнал от

управляющего устройства поступает на датчик, установленный внутри узла подачи коробок, щипцы, удерживающие всю стопку, «роняют» одну коробку на дно лотка и тут же закрываются, удерживая остальную стопку.

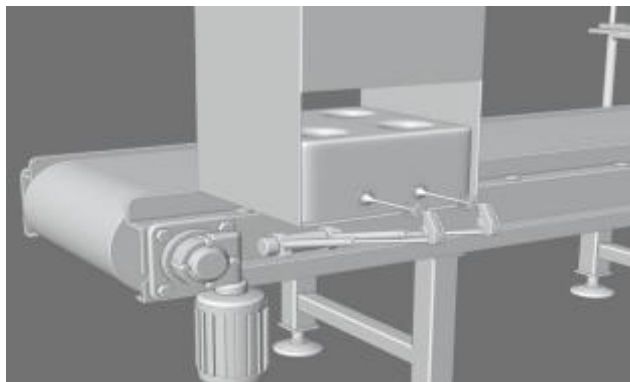


Рис. 2. Транспортировочная упаковка (вид сверху) и устройство подачи коробок на конвейер

В корпусе лотка выполнено сквозное отверстие, размеры которого на 15 % больше самой коробки. С одной стороны от конвейера расположен выход на конвейерную ленту, а с другой – толкатель, который «выталкивающим» движени-

ем перемещает коробку на конвейерную ленту.

На рис. 3–5 показаны созданные 3D-модели устройства фасовки стаканов, устройства для заливки продукта в стаканы и устройства запайки стаканов.

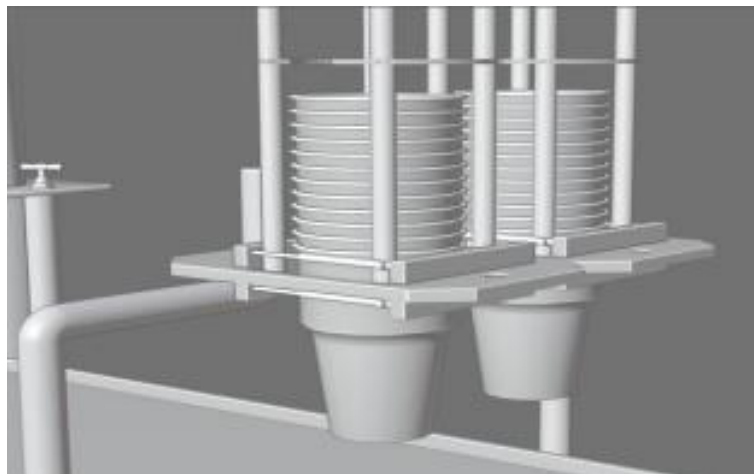


Рис. 3. Устройство фасовки стаканов

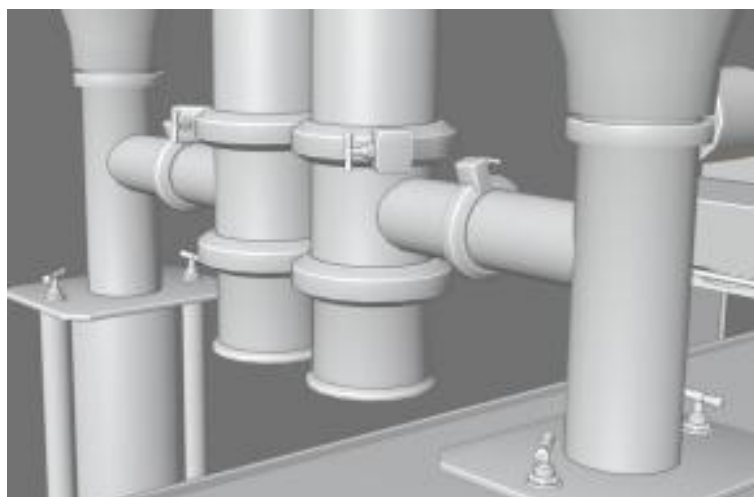


Рис. 4. Устройство для заливки продукта в стаканы

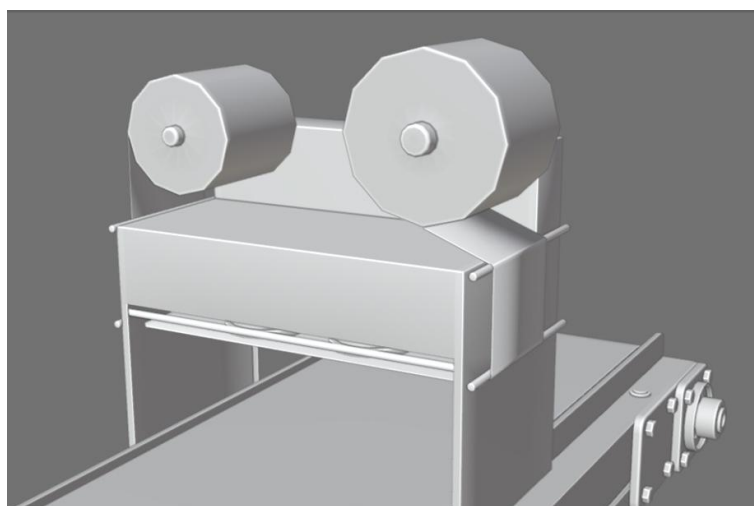


Рис. 5. Устройство запайки стаканов

Расчет экономической эффективности использования предлагаемой линии фасовки и упаковки жидких продуктов с автоматиче-

ской подачей в процессе производства может быть осуществлен из следующих соображений. Замена кареток, использующихся в аналогич-

ных линиях для передвижения стаканов, на конвейерную ленту, цена которой начинается от 50 тысяч рублей, приведет к минимальной экономии в размере 135 тысяч рублей. Исчезает необходимость в установке вдоль линии роботов-манипуляторов, цена которых составляет в среднем 45 тысяч рублей. На большинстве производств на выходе фасовочных линий используются картонные коробки. Предлагается изменить материал коробок для транспортировки с картона на более дешевое папье-маше с похожими свойствами. Экономия составит 5 рублей с каждого килограмма тары.

Разработанная линия фасовки и упаковки жидких продуктов с автоматической подачей способна выполнять поставленные задачи. Ее применение позволит значительно сократить время, затрачиваемое на изготовление продукции, заменить ручной труд на этапе сборки готового продукта в коробки за счет автоматической подачи тары, а также свести расходы на изготовление самой конструкции к минимуму, не пренебрегая качеством.

Потребителями результатов работы могут быть предприятия пищевой промышленности, занимающиеся обработкой, переработкой, поставкой жидких и сыпучих продуктов питания, а также предприятия химической промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П. м. 78769 Российская Федерация, МПК В65D23/00. Установка упаковочная для дозирования и укупорки вязких продуктов и молока в полимерную тару / М. Г. Эрлихсон, М. Н. Фокин ; заявитель и патентообладатель ООО «ЭЛЬФ 4М». – № 2008105711/22 ; заявл. 19.02.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34.
2. П. м. 81167 Российская Федерация, МПК В65D39/00. Установка фасовочно-упаковочная для укупорки молока и кисломолочных продуктов в полимерную тару / М. Г. Эрлихсон, М. Н. Фокин ; заявитель и патентообладатель ООО «ЭЛЬФ 4М». – № 2008142683/22 ; заявл. 29.10.2008 ; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.
3. Пат. 2592880 Российская Федерация, МПК В65В59/04. Система для запаивания лотков с пищевыми продуктами / Л. Вайн ; заявитель и патентообладатель Ишида Юроп Лимитед. – № 2014142681/13 ; заявл. 25.03.2013 ; опубл. 27.07.2016, Бюл. № 14.
4. П. м. 63792 Российская Федерация, МПК В67С7/00. Линия для фасовки и упаковки пищевых продуктов / И. А. Леонтьев ; заявитель и патентообладатель ЗАО «ТАУРАС-ФЕНИКС». – № 2005132566/12 ; заявл. 17.10.2005 ; опубл. 10.06.2007, Бюл. № 16.
5. Смус, А. А. Система автоматизации процесса фасовки и упаковки жидких продуктов / А. А. Смус, А. А. Галкина // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 22–26 апреля 2024 г.) : тез. докл. / редкол. : С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ, Отдел координации научных исследований молодых ученых УНИИ, Общество молодых ученых. – Волгоград, 2024. – С. 19–20.

Ответственный за выпуск Жанна Сергеевна **ТИХОНОВА**

Оригинал-макет и электронная версия издания
подготовлены редакционно-издательским отделом
Издательства ВолгГТУ

Корректурa **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 2024 г. Поз. № Жж. Дата выхода в свет 29.08.2024 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 8,68.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 415.
Отпечатано в типографии Издательства ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В научном журнале «Известия ВолгГТУ» серии «Прогрессивные технологии в машиностроении» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований и представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области прогрессивных технологий в машиностроении.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия журнала, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

К публикации допускается не более двух статей автора в выпуске.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word 2003–2010 и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей в электронном виде в полном соответствии с распечатанным оригиналом.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи, адрес электронной почты, а также аннотация и ключевые слова на русском языке. Затем на английском языке повторяются инициалы и фамилия автора (авторов), заглавие статьи, организация или предприятие, в котором работает автор статьи, аннотация и ключевые слова. В конце статьи ставится дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводятся на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать семь страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки,

помеченные буквами *а*, *б*, и т. д. Рекомендуется включать в журнал статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной-двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором, без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), рецензия доктора наук, компетентного в предметной области предоставляемой статьи. Для сотрудников Волгоградского государственного технического университета и подразделений также необходима документация, подтверждающая возможность открытого опубликования (экспертное заключение о возможности опубликования статьи, акт идентификации статьи). Для сторонних авторов также должно быть приложено сопроводительное письмо на имя ответственного секретаря серии с просьбой о публикации.