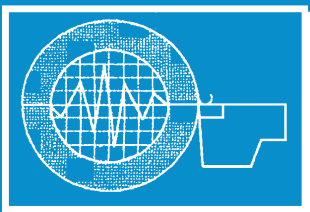


# ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского  
государственного  
технического  
университета

ISSN 1990-5297



Серия  
Прогрессивные технологии  
в машиностроении

16+

№ 3 (250)  
2021

Главный редактор научного журнала  
«Известия Волгоградского государственного технического университета»  
академик РАН, профессор, доктор химических наук,  
президент 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.*, чл.-корр. 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)  
*Шаритов В. М.*, д-р техн. наук, проф.,  
Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)  
*Шаховская Л. С.*, д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ  
*Шейн А. Г.*, д-р физ.-мат. 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)

**Мухин А. В.**, д.т.н. проф.  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва)

**Бржозовский Б. М.**, д.т.н. проф.  
(СГТУ, г. Саратов)

**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.

**Благовещенская М. М.**, д.т.н., проф.  
проректор (МГУПП, г. Москва)

**Пашков Е. В.**, д.т.н., проф. первый  
проректор (СевНТУ, г. Севастополь)

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

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

**Плотников А. Л.**, д.т.н., проф.

**Тихонова Ж. С.**

(ответственный секретарь)

Международный индекс журнала  
ISSN 1990-5297.

Журнал распространяется  
по подписке.

Индекс журнала по каталогу  
Агентства «Роспечать»  
для Российской Федерации –  
80811(ОК+ЭК).

**Тел. издательства ВолгГТУ:**

8-(8442) 24-84-08

8-(8442) 24-84-05

zavrio@vstu.ru

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

## № 3 (250)

## Март 2021

**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:** president@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*

Head Editor of the scientific journal “Izvestiya VSTU”:

**Novakov I. A.** – Academician of RAS, Prof., Doctor of Chemistry, President 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. Solovyov (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.*, Corresponding Member of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

*Le Kvet Tan*, PhD, Kanto University (Kanto, Vietnam)

*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), 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)

*Pustovoit 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)

*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

*Sheyin A. G.*, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof. of 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)  
*Mukhin A.V.*, D. Sc. (Engineering),  
Prof. (Bauman MSTU, Moscow)  
*Brzhozovsky B. M.*, D. Sc.  
(SSTU, Saratov)  
*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., First vice-rector  
(SEVNTU, Sevastopol)  
*Popov V.I.*, D. Sc. (Engineering),  
Prof. (MSUAB, Moscow)  
*Serdobintsev S.P.*, D. Sc.  
(Engineering), Prof.  
(KSTU, Kaliningrad)  
*Plotnikov A.L.*, D. Sc. (Engineering), Prof.  
*Tihonova Zh. S.* (executive secretary),

International index of the journal  
ISSN 1990-5297.

The journal is distributed by subscription.  
Index of the journal in the catalogue of  
the Agency «Rospechat» for the Rus-  
sian Federation – 80811(OK+ЭК).

### Tel. Of VSTU editorial office:

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

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

**№ 3 (250)**  
**March**  
**2021**

### 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: president@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

- Амирджанова И. Ю. 13  
Арыканцев В. В. 51  
Багайсков Ю. С. 37  
Балакиров С. Н. 46  
Бокова Л. Г. 23  
Бочкарев П. Ю. 23  
Волков И. В. 66, 74  
Воронцова А. Н. 7  
Гребенников В. Н. 82  
Грушина Т. Д. 7  
Доблер Ф. С. 13  
Драпак К. А. 54  
Драчев О. И. 13  
Дроботов А. В. 71, 78  
Дьяченко Е. А. 56  
Жданов А. А. 9, 28  
Ивон Нкеуа Д. А. 28  
Кадыгрова Т. С. 54, 59  
Каландаров П. И. 62  
Калинин Я. В. 51, 66  
Капиносова Е. В. 9  
Капитанов А. В. 54  
Карлов В. И. 15, 19  
Качалова А. В. 34  
Кожевникова А. А. 9  
Козенко М. Ю. 56  
Козловцева Н. В. 59  
Королев Р. Д. 23  
Котельников Г. В. 74  
Крылов Е. Г. 54, 59  
Крыхтин Ю. И. 15, 19  
Курсин О. А. 28  
Кухтик М. П. 69  
Лагутина А. Д. 59  
Лебедь М. Б. 66  
Лебедь Н. И. 66  
Линник А. В. 7  
Липатов А. А. 31  
Макаров А. М. 56, 74  
Назарий А. М. 62  
Никитин М. В. 34  
Полянчикова М. Ю. 28, 34  
Поступаева С. Г. 82  
Репников А. И. 69  
Рогачев А. В. 41, 43  
Сазонова А. С. 37  
Сальников Р. М. 56  
Самойлов Д. В. 71, 78  
Селиванова Д. В. 34  
Сердобинцев Ю. П. 69  
Степанов Р. П. 13  
Терешина Е. А. 37  
Фирсов И. В. 9  
Фролов Е. М. 41, 43  
Червонцев С. Е. 19  
Чернышев В. В. 51  
Чигиринский Ю. Л. 31  
Шарипов Р. Р. 74  
Шаронов Н. Г. 51  
Шемелюнас С. С. 71, 78  
Яковлев А. А. 82  
Ярьсько С. И. 46

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>Воронцов А. Н., Грушина Т. Д., Линник А. В.</i><br>Формирование реестра риска низшего (цехового) уровня.....  | 7  |
| <i>Жданов А. А., Фирсов И. В., Кожевникова А. А., Капиносва Е. В.</i><br>Проблемы обеспечения заданных эксплуатационных свойств<br>деталей машин при многопереходной механической обработке.....                 | 9  |
| <i>Драчев О. И., Амирджанова И. Ю., Доблер Ф. С., Степанов Р. П.</i><br>Влияние осевых сил поджатия на остаточные напряжения при точении.....  | 13 |
| <i>Карлов В. И., Крыхтин Ю. И.</i><br>Инерционный стенд с дизельным ДВС для комплексных исследований<br>механических трансмиссий и их узлов легких гусеничных машин.....   | 15 |
| <i>Карлов В. И., Крыхтин Ю. И., Червонцев С. Е.</i><br>Методика определения нагрева деталей двухдискового<br>остановочного тормоза легкой гусеничной машины<br>при работе на дизельном инерционном стенде.....   | 19 |
| <i>Королев Р. Д., Бочкарев П. Ю., Бокова Л. Г.</i><br>Оценка производственной технологичности деталей<br>с прогнозированием назначения базовых поверхностей.....   | 23 |
| <i>Курсин О. А., Ивон Нкеуа Д. А., Полянчикова М. Ю., Жданов А. А.</i><br>Повышение качества поверхности при хонинговании<br>с предварительной криогенной обработкой изделий<br>из низкоуглеродистых сталей..... | 28 |
| <i>Липатов А. А., Чигиринский Ю. Л.</i><br>Особенности контактного взаимодействия при резании<br>высоколегированных сталей твердосплавным инструментом.....  | 31 |
| <i>Полянчикова М. Ю., Селиванова Д. В., Качалова А. В., Никитин М. В.</i><br>Анализ производительности хонингования с переменной<br>по высоте детали скоростью резания при ремонте ДВС.....                      | 34 |
| <i>Сазонова А. С., Терешина Е. А., Багайсков Ю. С.</i><br>Обеспечение высокой равномерной твердости<br>шлифовальных кругов на керамической связке.....   | 37 |
| <i>Фролов Е. М., Рогачев А. В.</i><br>Возможности использования серийного оборудования с ЧПУ<br>в качестве основы для построения цифровых производственных участков.....   | 41 |
| <i>Фролов Е. М., Рогачев А. В.</i><br>Модуль управления режимами резания<br>для использования с серийным оборудованием, оснащенным ЧПУ.....  | 43 |
| <i>Яресько С. И., Балакиров С. Н.</i><br>Моделирование композиционного материала<br>для лазерной размерной обработки.....  | 46 |
| <br>   |    |
| Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  |    |
| <i>Арыканцев В. В., Калинин Я. В., Шаронов Н. Г., Чернышев В. В.</i><br>Перспективы применения лидаров в шагающих аппаратах,<br>передвигающихся по дну.....  | 51 |
| <i>Драпак К. А., Кадыгрова Т. С., Крылов Е. Г., Капитанов А. В.</i><br>Оценка уровня надежности защиты регазификационного терминала.....   | 54 |



|   |    |
|---|----|
| <i>Дьяченко Е. А., Козенко М. Ю., Сальнико Р. М., Макаров А. М.</i><br>Разработка и исследование автоматизированного лабораторного стенда<br>на базе макета промышленного робота «SCARA».....             | 56 |
| <i>Кадыгорова Т. С., Крылов Е. Г., Лагутина А. Д., Козловцева Н. В.</i><br>Модернизация блока подогрева газа на АГРС.....   | 59 |
| <i>Каландаров П. И., Назарий А. М.</i><br>Анализ системы диспетчерского управления<br>и контроля SCADA на канале Бустон.....  | 62 |
| <i>Лебедь Н. И., Волков И. В., Лебедь М. Б., Калинин Я. В.</i><br>Мультисекционная климатическая камера<br>для ускоренного производства культурных растений<br>в условиях регулируемых параметров.....    | 66 |
| <i>Репников А. И., Сердобинцев Ю. П., Кухтик М. П.</i><br>Разработка нейронной сети для определения<br>кавитационного запаса насосных агрегатов.....  | 69 |
| <i>Самойлов Д. В., Дроботов А. В., Шемелюнас С. С.</i><br>Система выравнивания натяжений двух контуров ремня<br>привода перемещений каретки 3D принтера.....  | 71 |
| <i>Шарилов Р. Р., Котельников Г. В., Волков И. В., Макаров А. М.</i><br>Разработка и исследование растворного узла<br>для автоматизированной установки аэропонного выращивания.....                       | 74 |
| <i>Шемелюнас С. С., Дроботов А. В., Самойлов Д. В.</i><br>Автоматизация сервисных функций в FDM 3Dпринтере.....   | 78 |
| <i>Яковлев А. А., Гребенников В. Н., Поступаева С. Г.</i><br>Разработка метода декомпозиции электрической схемы<br>посредством ее структурирования на основе модели<br>физического принципа действия..... | 82 |

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 658.562

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-7-9

*А. Н. Воронцова, Т. Д. Грушина, А. В. Линник*

### ФОРМИРОВАНИЕ РЕЕСТРА РИСКА НИЗШЕГО (ЦЕХОВОГО) УРОВНЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vorontsovaan@yandex.ru

Рассматривается целесообразность разделения реестра рисков в организации по стадиям жизненного цикла, и приводятся рекомендации по построению реестра низшего уровня – операций технологического процесса.

*Ключевые слова:* управление рисками, критерии риска, ISO 31000, шкалы для оценки риска.

*A. N. Vorontsova, T. D. Grushina, A. V. Linnik*

### ESTABLISHMENT OF A LOWER (SHOP) LEVEL RISK REGISTER

Volgograd State Technical University

Consideration of feasibility Consider the possibility of dividing the risk register in the organization into life cycle stages and make recommendations for building a lower level register - technological operations.

*Keywords:* risk management, risk criteria, ISO 31000, risk assessment scales.

Любой производственный процесс изменчив, значит изменчиво и качество продукции, заложенное в технологическом процессе, из чего следует, что изменчивостью процессов необходимо управлять. Сложность управления связана с многообразием и количеством влияющих факторов, которые распространяются на всю производственно-хозяйственную деятельность организации по всей цепочке жизненного цикла продукции. Нахождение наилучшего пути управления является приоритетной задачей современного производства.

Методы управления определяет сама организация, но в последней версии стандарта ISO 9001 делается упор «на концепцию мышления, ориентированного на оценку риска». Методику управления рисками предлагается определять требованиями стандарта ISO 31000, форму записи идентифицированного риска и результаты анализа оформлять в виде реестра риска по ГОСТ Р 51901.22.

Нами предлагается концепция разработки реестров риска разного уровня: низшего – для решения проблем производственного подразделения (в нашем случае – цеха механической обработки деталей) и высшего, в который

включаются проблемы, решаемые на уровне высшего руководства организации.

Сама концепция включает следующие виды работ:

1. Установить процессы СМК на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 и выделить те из них, которые могут являться для данного предприятия и на данном этапе источниками рисков с точки зрения поставленных задач. Для этих процессов разрабатывается система управления рисками, и составляются их реестры

2. Управление рисками должно быть построено на использовании концепции Всеобщего управления качеством TQM, которая предполагает полное вовлечение сотрудников в деятельность по управлению качеством, этим достигается синергический эффект от управления. В механическом цехе управление начинается с рабочего места (операции), следующие уровни – отдельный технологический процесс, технологический участок, цех и т. д.

3. Реестры составляются для перечисленных уровней и в них риски разделяются на те, которые можно решить на своем уровне и те, которые должны быть переданы на более высокий уровень.

В проведенном авторами исследовании в качестве инструмента отбора ситуаций по идентификации рисков, попадающих в реестр на низшем уровне – операции технологического процесса, был выбран допустимый процент брака: в реестр включались только те

технологические операции, уровень надежности которых был ниже допустимого в цехе предела.

Для выбора критериев риска, их весомости и ранжирования использовались диаграммы Парето, одна из которых приведена на рис. 1.

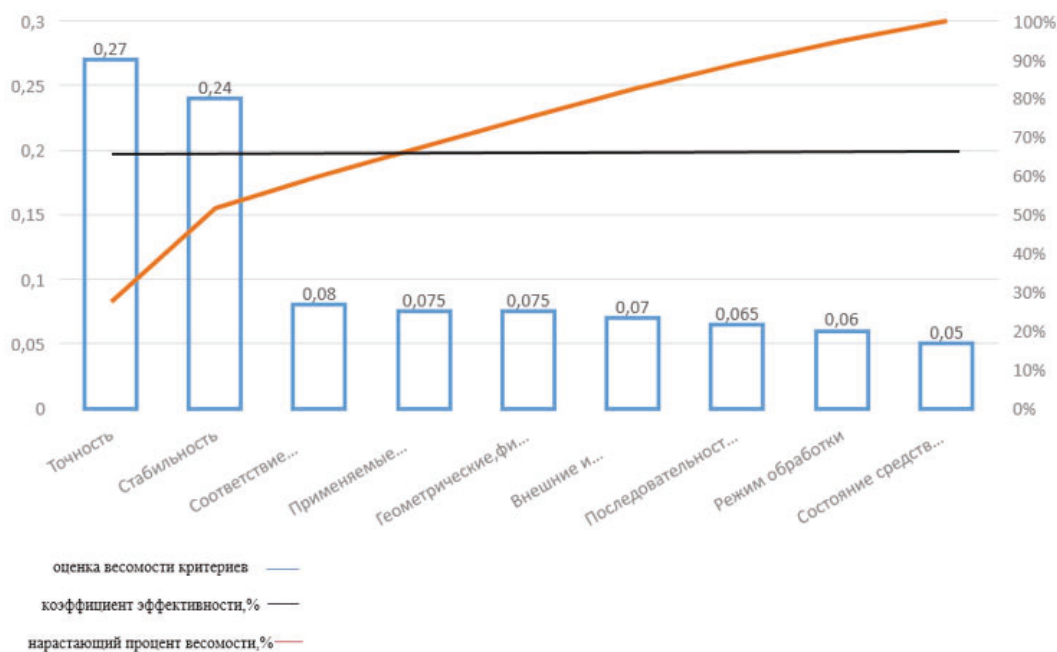


Рис. 1. Экспертная оценка критериев риска

Было принято решение о включении в реестр на планируемый этап трех критериев: точность (весомость 0,27), стабильность – (0,24) и последовательность выполнения операций (0,05), что

в сумме составило 56 % проблем качества.

Форма реестра низшего уровня была принята по рекомендациям документа Р50.1.084-2012, фрагмент которого показан на рис. 2.

| Идентификатор опасного события | Наименование и описание опасного события | Ответственный по риску      | Последствия опасного события (I) |   |   | Вероятность опасного события (L) |   |   | Оценка риска(I*L) |   |    |    | Мероприятия по обработке риска | Срок выполнения мероприятий |   | Примечание |      |      |
|--------------------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|---|---|----------------------------------|---|---|-------------------|---|----|----|--------------------------------|-----------------------------|---|------------|------|------|
|                                |  |                             | Б                                | Д | З | Р                                | Б | Д | З                 | Р | Б  | Д  |                                | З                           | Р   |            | план | факт |
| Технологический процесс        | Точность                                 | Ответственный технолог цеха | 5                                | 5 | 5 | 5                                | 3 | 3 | 3                 | 3 | 15 | 15 | 15                             | 15                          | Статистический анализ, в результате которого выявить наличие систематических погрешностей, которые следует исключить или компенсировать, проверить организацию наладки оборудования, провести метрологическую экспертизу технологической документации |            |      |      |

Рис. 2. Фрагмент реестра низшего уровня

Были приняты шкалы для оценки риска: шкала последствий (I): 5 – последствия катастрофические, 4 – последствия значительные, 3 –

последствия умеренные, 2 – последствия небольшие, 1 – последствия малозначительные; шкала вероятности опасного события (L): 5 –



вероятность очень высокая, 4 – высокая, 3 – средняя, 2 – низкая, 1 – очень низкая. Оценка риска (IxL): (0–4) – риск низкий, (5–8) – средний, (9–25) – высокий, (16–25) – требует немедленных действий.

Полученный в исследовании риск – высокий и требует решения обозначенной проблемы в виде введения обязательного статистического контроля и проведения метрологической экспертизы технологического процесса.

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-9-13

*А. А. Жданов<sup>1</sup>, И. В. Фирсов<sup>2</sup>, А. А. Кожевникова<sup>1</sup>, Е. В. Капиносова<sup>1</sup>*

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАНЫХ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет

<sup>2</sup>АО «Федеральный научно-производственный центр  
«Титан-Баррикады»

E-mail: alex\_128@mail.ru

Рассматриваются проблемы обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей машин при многопереходной механической обработке, а также причины расхождений и ошибок, закладываемых на этапе проектирования технологического процесса.

*Ключевые слова:* шероховатость, дефектный слой, токарная обработка, маршрутное проектирование, технологический процесс, режимы резания.

*A. A. Zhdanov<sup>1</sup>, I. V. Firsov<sup>2</sup>, A. A. Kozhevnikova<sup>1</sup>, E. V. Kapinosova<sup>1</sup>*

**THE PROBLEMS OF ENSURING SPECIFIED PERFORMANCE PROPERTIES  
OF MACHINE PARTS DURING MULTITRANSIENT MACHINING**

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University

<sup>2</sup>JSC "Federal Research and Production Enterprise Center"  
Titan-Barricady

The article considers the problems of ensuring the specified operating properties of machine parts during multitransient machining, and more precisely, the discrepancies and errors laid down at the stage of technological process design.

*Keywords:* roughness, defective layer, turning process, routes projecting, technological process, cutting conditions.

Перед инженером-технологом при разработке технологического процесса механической обработки стоит задача выполнить требования, заложенные конструктором при разработке рабочего чертежа детали. Помимо обеспечения требований по размерной точности, а также точности формы и взаимного расположения поверхностей, невыполнение которых может привести к невозможности сборки или функциональной непригодности узлов деталей машин, к поверхностям деталей предъявляются и другие требования. К характеристикам, кото-

рые определяют эксплуатационные свойства, можно отнести, в частности, параметр шероховатости, глубину дефектного слоя, показатели прочности, микротвердости, остаточных напряжений и т. д. Некоторые из них для конкретного материала определяются правильно подобранным режимом термообработки, на другие же во многом влияют маршрут и режимы механической обработки.

Рассмотрим более подробно некоторые проблемы, с которыми сталкивается технолог при маршрутном проектировании и назначении

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования [Электронный ресурс]: каталог ГОСТ. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/60764> (дата обращения: 17.01.21).

2. ГОСТ Р ИСО 31000–2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство [Электронный ресурс]: каталог ГОСТ. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/73107> (дата обращения: 18.01.21).

3. ГОСТ Р 51901.22–2012 Менеджмент риска. Реестр риска. Правила построения каталог ГОСТ. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54072> (дата обращения: 21.01.21).

режимов резания, на примере обработки цилиндрической поверхности детали типа вал диаметром  $\varnothing 55\text{м6}$  с шероховатостью поверхности  $Ra = 0,63 \text{ мкм}$  из стали 45. Показатели твердости согласно требованиям чертежа обеспечиваются термообработкой ТВЧ, после которой необходима окончательная механическая обработка.

В работах [1], [2] говорится о том, что количество альтернативных маршрутов обработки может быть очень велико, причем достижимая точность обработки различными методами может колебаться в некотором диапазоне по данным разных машиностроительных справочников. Аналогичная ситуация и с различными параметрами, характеризующими эксплуатационные свойства. Наиболее проработанным среди них является параметр  $Ra$  шероховатости поверхности, информация о достижимых показателях которого для каждого метода обработ-

ки имеется в большинстве справочников. Сведения о других параметрах шероховатости, глубине наклепа, микротвердости, остаточных напряжениях и т.д. при наружной обработке цилиндрических поверхностей приводятся только в некоторых (двух-трех) справочниках, при этом охвачены не все возможные методы обработки [1], [2] и не все параметры. Этот факт говорит о необходимости экспериментальных исследований в данном направлении и является одной из проблем проектирования.

Если вернуться, к примеру и считать, что при проектировании технологического процесса технологу достаточно выполнить требования по размерной точности и шероховатости, то маршруты обработки, которые с наибольшей вероятностью позволят выполнить требования, можно представить в виде ориентированного графа (рис. 1).

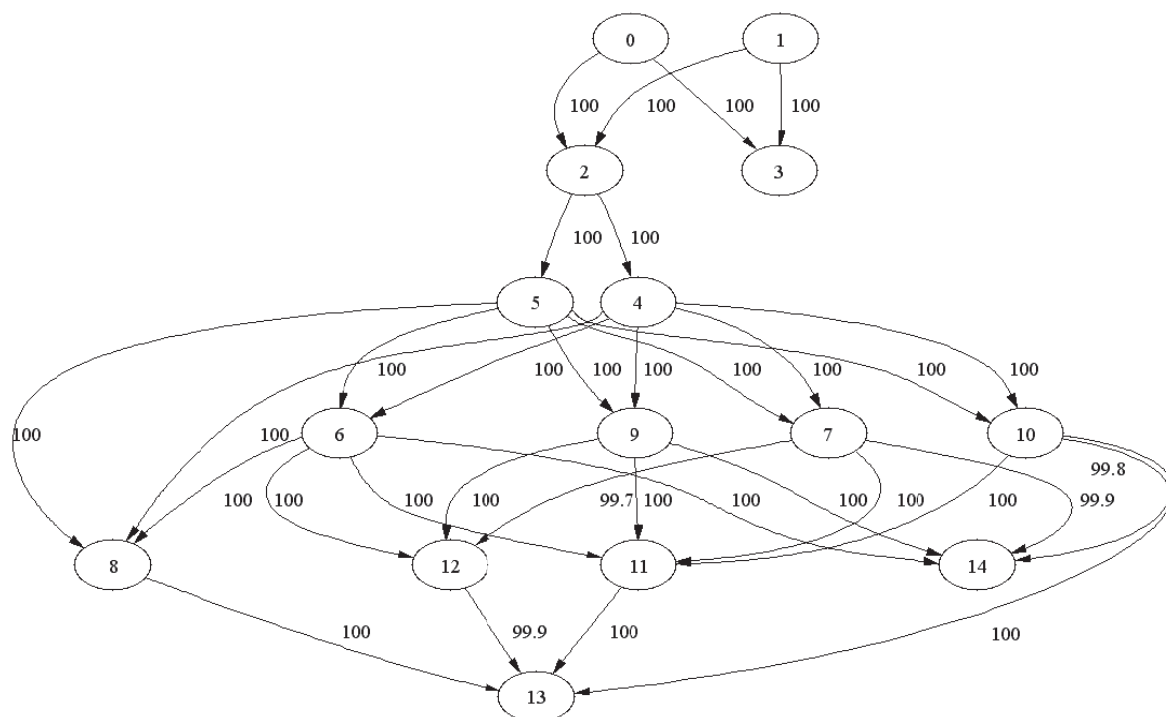


Рис. 1. Совокупность маршрутов обработки по параметрам точности  $IT$  и шероховатости  $Ra$ , представленная в виде ориентированного графа

Такой подход позволяет представить задачу технологического проектирования в виде задачи линейного программирования, которая является, по сути, формализованной. Разумеется, среди найденной совокупности решений технолога будут интересовать наиболее выгодные по выбранному критерию оптимизации, например,

по производительности. Результат подобной оптимизации и поиска решения представлен на рис. 2 в виде скриншота рабочего окна программы [3], а также в табл. 1 в виде ориентированного графа приблизительно равнозначных маршрутов обработки.

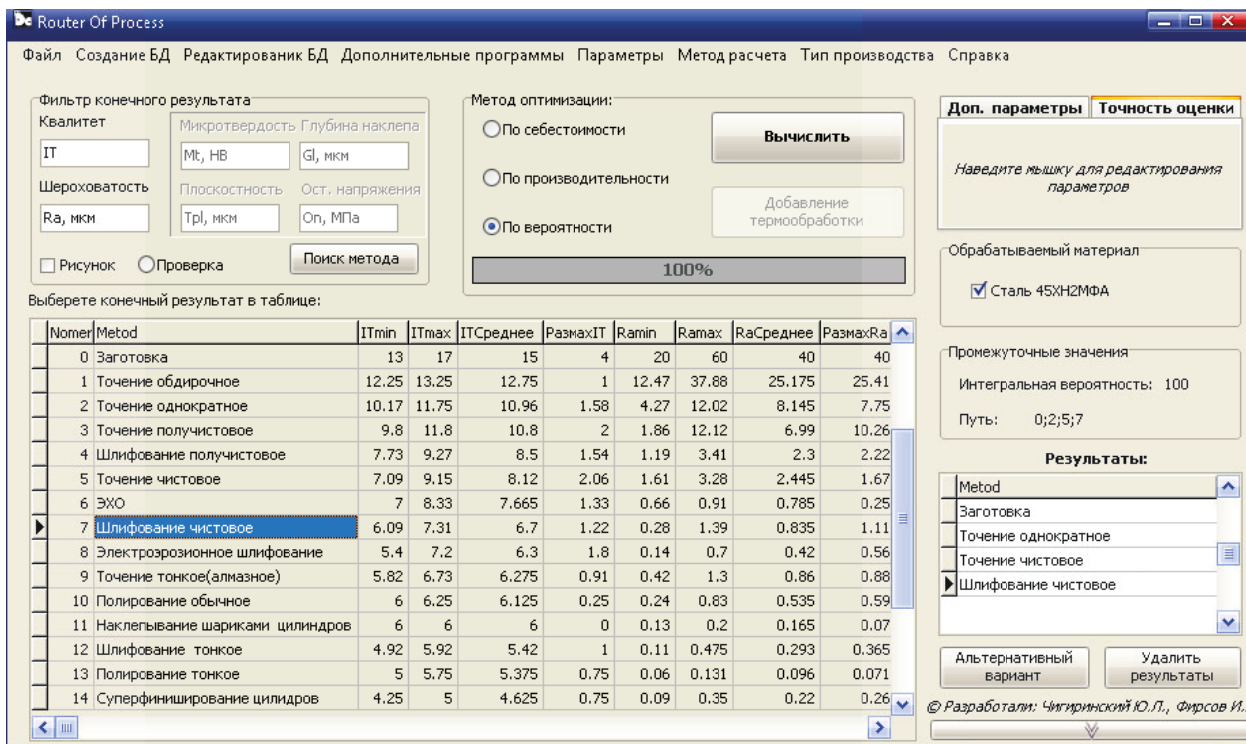


Рис. 2. Скриншот рабочего окна программы Router of Process: один из предлагаемых маршрутов обработки по параметрам размерной точности *IT* и шероховатости *Ra*

Таблица 1

Результат маршрутного проектирования

| № | Метод обработки           | Ориентированный граф |
|---|---------------------------|----------------------|
| 0 | Заготовка                 |                      |
| 1 | Точение однократное       |                      |
| 2 | Точение чистовое          |                      |
| 3 | Шлифование чистовое       |                      |
| 4 | Шлифование получистовое   |                      |
| 5 | Точение тонкое (алмазное) |                      |

Следует отметить, что данные маршруты по параметрам *IT* и *Ra* являются взаимозаменяемыми, т. е. в зависимости от оснащённости станочного парка, производительности и других показателей можно выбирать любой маршрут. Однако, одинаковы ли будут другие параметры, характеризующие эксплуатационные свойства? Этот вопрос требует детальной проработки и экспериментальных исследований.

Допустим, в результате описанного выше анализа принят некоторый маршрут обработки, например, заготовка – однократное точение – чистовое точение – чистовое шлифование. Одним из последующих вопросов технологического проектирования является выбор режимов обработки: глубины резания, подачи, скорости

резания, а также силы и мощности резания. Сравним рекомендации нескольких источников по назначению режимов резания для чистового точения (табл. 2, 3).

Понятно, что при расчете по одной принятой скорости результаты расчета сил резания и мощности по разным справочникам будут более адекватными и не будут давать такие расхождения, как в табл. № 3, однако, как показывают данные источников [9], [10] эти расхождения все равно могут быть очень существенными и могут достигать 100 % и более. В статье [10] показано, что ошибки при расчете радиальной составляющей силы резания пропорционально транслируются на результат обработки в виде погрешностей из-за нежесткости технологической систе-



мы, отжатий, прогиба заготовки и т. п., приводя к выходу за допускаемые значения не только по точности формы и взаимного расположения, но и по параметру размерной точности.

Таблица 2

Сравнение рекомендаций по выбору глубины резания и подачи при чистовом продольном точении стали 45 резцом из T15K6

| Литература* | Параметры   |           |               |           |                       |            |
|-------------|-------------|-----------|---------------|-----------|-----------------------|------------|
|             | Глубина, мм |           | Подача, мм/об |           | Шероховатость Ra, мкм |            |
|             | $t_{min}$   | $t_{max}$ | $S_{min}$     | $S_{max}$ | $Ra_{min}$            | $Ra_{max}$ |
| [4]         | 0,12        | 0,25      | –             | –         | –                     | –          |
| [5]         | 0,07        | 0,35      | 0,1           | 0,4       | 0,63                  | 2,5        |
| [6]         | 0,03        | 0,2       | 0,05          | 1         | 1,25                  | 2,5        |
| [7]         | 0,09        | 0,31      | 0,5           | 1,5       | –                     | –          |
| [8]         | 0,05        | 0,25      | 0,5           | 2         | –                     | –          |
| Размах, R   | 0,09        | 0,15      | 0,45          | 1,60      | 0,62                  | 0          |
| R/min, %    | 300         | 75        | 900           | 400       | 98                    | 0          |

Таблица 3

Сравнение рекомендаций по расчету скорости и силы резания при чистовом продольном точении стали 45 резцом из T15K6

| Литература* | T,  | t,  | S,    | v,    | Силы, Н |       |       | N,  | n,                |
|-------------|-----|-----|-------|-------|---------|-------|-------|-----|-------------------|
|             | мин | мм  | мм/об | м/мин | $P_z$   | $P_x$ | $P_y$ | кВт | мин <sup>-1</sup> |
| [4]         | 60  | 0,5 | 0,2   | 293   | 343     | –     | 137   | 1,7 | 1697              |
| [5]         | 60  | 0,5 | 0,2   | 302   | 170     | 89    | 68    | 0,5 | 1749              |
| [6]         | 60  | 0,5 | 0,2   | 306   | –       | –     | –     | –   | 1772              |
| [7]         | 60  | 0,5 | 0,2   | 395   | 567     | 340   | 207   | 3,7 | 2287              |
| [8]         | 60  | 0,5 | 0,2   | 270   | 180     | –     | –     | 0,8 | 1563              |
| [9]         | 60  | 0,5 | 0,2   | 158   | 265     | 127   | 182   | 0,7 | 915               |
| Размах, R   | –   | –   | –     | 237   | 397     | 251   | 139   | 3,2 | 1372              |
| R/min, %    | –   | –   | –     | 150   | 234     | 282   | 204   | 647 | 150               |

В результате работы можно сделать следующие выводы:

1. Требуется экспериментальные данные и математические модели, которые могут позволить на этапе проектирования технологического процесса выбирать маршруты обработки, которые обеспечат выполнение требований, характеризующих эксплуатационные свойства детали.

2. Необходимо разрабатывать адекватные и достоверные математические модели проектных расчетов режимов резания, которые позволят обеспечивать достижимые на каждой технологической операции и переходе параметры, характеризующие эксплуатационные свойства.

3. Ошибки, закладываемые при выборе режимов резания, влияют на точность и качество обработки, стойкость режущего инструмента и другие параметры, снижая эффективность обработки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чигиринский, Ю. Л. Информационный комплекс проектирования планов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов, Н. В. Чигиринская // СТИН. – 2013. – № 6. – С. 18–21.
2. Фирсов, И. В. Состояние поверхностного слоя детали после черновой лезвийной обработки стали 45ХН2МФА / И. В. Фирсов, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (187) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 55–59.
3. Свид. о регистрации программы для ЭВМ № 2013614279 от 26 апреля 2013 г. РФ Проектирование маршрута обработки наружных цилиндрических поверхностей / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов ; ВолгГТУ. – 2013.
4. Режимы резания металлов. Справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 364 с.
5. Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Сулова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
6. Справочник в 2 т. Т. 1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания / А. Д. Локтев, И. Ф. Гушин, В. А. Батуев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1991. – 640 с.

7. Справочник. Режимы резания для токарных и сверльно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением / под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.

8. Справочник токаря-универсала / под ред. М. Г. Шеметова, В. Ф. Безязычного. – 2-е издание., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2007. – 576 с.

9. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников,

А. О. Таубе ; ВолгГТУ. – Волгоград: Волгогр. науч. изд-во, 2003. – 184 с.

10. Анализ причин ошибок при расчете погрешностей из-за упругих перемещений элементов технологической системы при токарной обработке / А. А. Жданов, А. Л. Плотников, Ж. С. Тихонова, Р. И. Аржуханов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 12–15.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-13-15

*О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова, Ф. С. Доблер, Р. П. Степанов*

### ВЛИЯНИЕ ОСЕВЫХ СИЛ ПОДЖАТИЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Тольяттинский государственный университет

E-mail: doi05@mail.ru

Проведен аналитический расчет величин коробления оси длинномерного вала от напряжений, созданных силой поджатия заднего центра станка заготовки. Даны рекомендации по уменьшению действия данного фактора на величину коробления вала. Материал может быть использован инженерно-техническими работниками предприятий.

*Ключевые слова:* осевые силы, остаточные напряжения, токарная обработка, прогиб вала.

*O. I. Drachev, I. Yu. Amirdzhanova, F. S. Dobler, R. P. Stepanov*

### INFLUENCE OF AXIAL PRELOAD FORCES ON RESIDUAL STRESSES DURING TURNING

Tolyatti State University

An analytical calculation of the values of the warping of the axis of a long shaft from the stresses created by the preload force of the rear center of the workpiece machine is carried out. Recommendations are given to reduce the effect of this factor on the amount of warping of the shaft. The material can be used by engineering and technical employees of enterprises.

*Keywords:* axial forces, residual stresses, turning, shaft deflection.

Маложесткие длинномерные детали типа вала подвержены короблению после операций механической обработки, которое проявляется в прогибе оси вала.

Одной из причин прогиба вала после токарной обработки является действие внутренних напряжений, созданных поджатием заднего центра и последующим неравномерным съемом металла в процессе механической обработки.

Ось вала от предыдущей технологической операции (термообработки, правки и др.) имеет некоторую кривизну. При установке вала в центр обрабатывающего станка и поджатия его кривизна усиливается. При этом в поперечном сечении  $z$  вала возникают внутренние напряжения, созданные силой  $P$  поджатия и изгибающим моментом (рис. 1).

$$M_{изг} = Pe',$$

где  $e'$  – расстояние от изогнутой оси вала до линии центров станка в сечении  $z$ .

Определим величину прогиба вала  $\delta$  оси от

усилия поджатия  $P$  заданным центром (рис. 1).

Экспериментально установлено, что ось длинномерного вала после операций термической стабилизации и механической обработки прогибается дугой, наиболее близко описываемой уравнением параболы второй степени

$$e = 4\delta_{\max}z(1 - z/l)/l, \quad (1)$$

где  $e$  – величина прогиба оси участка вала;  $\delta_{\max}$  – максимальный прогиб вала;  $l$  – длина вала;  $z$  – текущая координата по длине.

При приложении усилия  $P$  вдоль оси центров максимальный прогиб  $\delta$  вала будет наблюдаться посередине вала (рис. 1). Тогда  $\delta$  определяется по методу Мора [2] приложением единичной силы в середине длины вала:

$$\delta = \int_0^l \frac{P_e M_1}{EJ} dz,$$

где  $M_1$  – момент, создаваемый фиктивной единичной силой;  $E$  – модуль упругости материала;  $J$  – момент инерции. Тогда:

$$\delta = 5\delta_{\max}l^2 P/48EJ. \quad (2)$$

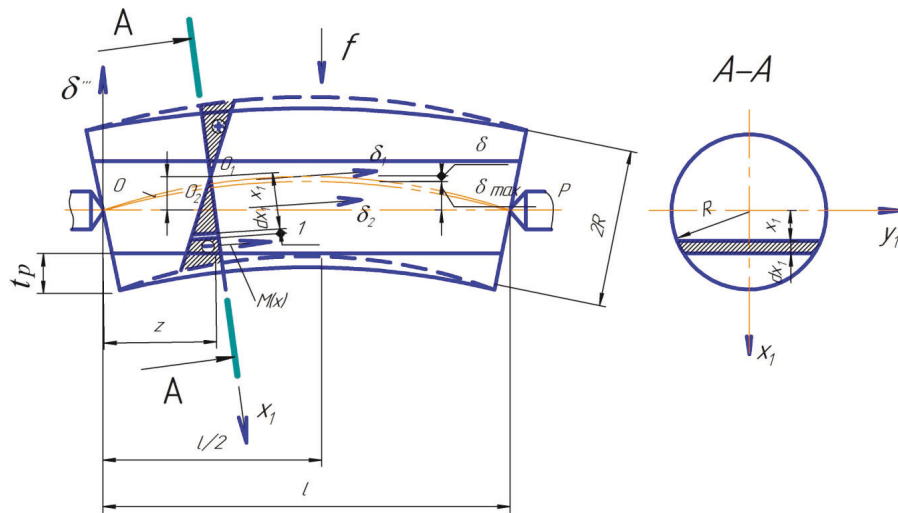


Рис. 1. Схема определения прогиба вала от внутренних напряжений, созданных поджатием в центрах

С учетом  $J = \pi R^4/4$  уравнение (2) преобразуем к виду

$$\delta = 5\delta_{\max} K_0^2 P / 3\pi E R^2,$$

где  $K_0$  – отношение длины вала к его диаметру.

Тогда расстояние в сечении от оси вала  $z$ , нагруженного усилием  $P$ , до линии центров определяется как

$$e' = \frac{4\delta_{\max}}{l} \left( 1 + \frac{5K_0^2 P}{3\pi E R^2} \right) z(1 - r/l)$$

Соответственно изгибающий момент в сечении  $z$  от усилия  $P$  определяется по формуле:

$$M_{изз} = \frac{4P\delta_{\max}}{l} \left( 1 + \frac{5K_0^2 P}{3\pi E R^2} \right) (z - z^2/l).$$

Определим параметры зависимости внутренних напряжений, образованных моментом  $M_{изз}$  в сечении  $z$  по глубине вала. В координатах  $x_1 O_1 \sigma_1$  (рис. 1), где  $O_1$  – центр сечения  $z$ , а ось  $O_1 x_1$  лежит в плоскости наибольшего изгиба вала и направлена по нормали к его изогнутой оси. Тогда проекция эпюры внутренних напряжений на плоскость  $x_1 O_1 \sigma_1$  выразится уравнением

$$\sigma = ax_1, \quad (3)$$

где  $a$  – тангенс угла наклона проекции эпюры внутренних напряжений на плоскость  $x_1 O_1 \sigma_1$ .

$$M(z) = \int_{-(R-t_p)}^{-(R-t_p)} 2(ax_1 + b)x_1 \sqrt{(R-t_p)^2 - x_1^2} dx_1$$

или после интегрирования с учетом уравнения (6):

$$M(z) = \frac{4P\delta_{\max}(R-t_p)^2}{R^2 l} \left( 1 + \frac{5K_0^2 P}{3\pi E R^2} \right) (z - z^2/l).$$

Элементарный реактивный момент в сечении  $z$  от образовавшихся напряжений определяем по формуле:

$$dM_p = 2ax_1^2 \sqrt{R^2 - x_1^2} dx_1. \quad (4)$$

Тогда:

$$M_p = \int_{+R}^{-R} 2ax_1^2 \sqrt{R^2 - x_1^2} dx_1 = -2\pi R^2 a. \quad (5)$$

Так как реактивный момент  $M_p$  в сечении  $z$  равен изгибающему моменту  $M_{изз}$  с обратным знаком, то, приравняв правые части выражений (3) и (5), найдем величину:

$$a = \frac{2P\delta_{\max}}{\pi R^2 l} \left( 1 + \frac{5K_0^2 P}{3\pi E R^2} \right) (z - z^2/l). \quad (6)$$

После снятия, в результате механической обработки, слоя глубиной  $t_p$  (рис. 1) в сечении  $z$  относительно центра нового уменьшенного сечения образуется изгибающий момент  $M(z)$  от внутренних напряжений, созданных силой  $P$ . В координатах  $x_1 O_2 \sigma_2$  (рис. 1), где  $O_2$  – центр сечения вала  $z$  после механической обработки, проекция на плоскость  $x_1 O_2 \sigma_2$  эпюры внутренних напряжений выразится уравнением  $\sigma = ax_1 + b$ .

Тогда аналогично определению реактивного момента  $M_p$  в сечении  $z$  до съема металла (зависимости (3)–(5)) получим:

Зная значение изгибающего момента  $M(z)$  в сечении после съема металла, с помощью метода Мора найдем максимальный прогиб вала от внутренних напряжений, образованных

вследствие поджатия его усилием  $P$  заднего центра и последующего съема металла:

$$\delta''_{\max} = -\frac{5K_0^2 P \delta_{\max}}{3\pi E (R - t_p)^2} \left(1 + \frac{5K_0^2 P}{3\pi E R^2}\right). \quad (7)$$

Зависимость прогиба  $\delta''_{\max}$  вала  $\varnothing 40$  мм и длиной 2400 мм от параметров при усилии поджатия 10 кг, глубине резания 1,5 мм и начальном прогибе 0,5 мм показана на рис. 2. Анализ зависимости (7) показывает, что прогиб вала от внутренних напряжений, образованных усилием поджатия заднего центра, направлен в сторону, противоположную прогибу его на предыдущей операции.

Прогиб вала  $\delta''_{\max}$  пропорционален квадрату отношения его длины к диаметру.

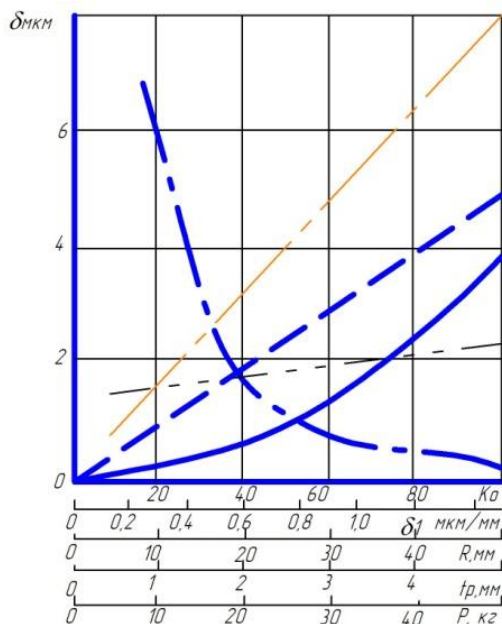


Рис. 2. Графики зависимости прогиба вала вследствие внутренних напряжений, образованных поджатием в центрах, от  $k_0$  (—);  $\delta_{\max}$  (---);  $R$  (· · ·);  $t_p$  (— · —);  $P$  (— × —)

С уменьшением прогиба вала на предыдущей операции  $\delta''_{\max}$  и глубины резания  $t_p$ , а также увеличением радиуса  $R$  вала прогиб  $\delta''_{\max}$  уменьшается. Причем при уменьшении прогиба на предыдущей операции до нуля прогиб  $\delta''_{\max}$  также уменьшается до нуля.

Следовательно, для уменьшения прогиба длинномерного вала от внутренних напряжений, образованных усилием поджатия заднего центра, необходимо снижать усилие  $P$  до минимума; при обработке длинномерных валов производить задним центром только «касание» без дальнейшего поджима центровочного отверстия на торце вала до момента начала его вращения; стремиться к уменьшению прогиба вала на предыдущей операции (применять операции правки); выполнять точение длинномерного вала с малыми глубинами в несколько проходов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровский, А. В. Технология вибрационного сверления глубоких отверстий / А. В. Бобровский, О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (236) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 8.
2. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. Г. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наук. думка, 1995. – 703 с.
3. Бобровский, А. В. Установка для механической обработки тонкостенных осесимметричных деталей / А. В. Бобровский, О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 13.
4. Бобровский, А. В. Анализ характеристик работы установки для двухлезвийной обработки валов / А. В. Бобровский, О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (243) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 24.
5. Бобровский, А. В. Технология механической обработки осесимметричных деталей при автоматическом управлении процесса с учетом внешних случайных воздействий / А. В. Бобровский, О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (243) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 26.

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-15-19

**В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин**

### ИНЕРЦИОННЫЙ СТЕНД С ДИЗЕЛЬНЫМ ДВС ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ И ИХ УЗЛОВ ЛЕГКИХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН\*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: au@vstu.ru

Разработан инерционный стенд с дизельным двигателем внутреннего сгорания (ДВС) для комплексных исследований и испытаний механических трансмиссий и их узлов легких гусеничных машин (ГМ) с большой удельной мощностью (свыше 30 л.с./т).

**Ключевые слова:** дизельный инерционный стенд, трансмиссия, дисковый тормоз, ротор индукторного тормоза, инерционная масса, двухступенчатый редуктор.

© Карлов В. И., Крыхтин Ю. И., 2021.

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту № 19-48-340021.

V. I. Karlov, Yu. I. Krykhtin

## INERTIAL STAND WITH DIESEL ENGINE FOR COMPLEX STUDIES OF MECHANICAL TRANSMISSIONS AND THEIR UNITS OF LIGHT CATERPILLAR MACHINES

Volgograd State Technical University

An inertial stand with an internal combustion diesel engine (ICE) was developed for comprehensive research and testing of fur transmissions and their units of light track vehicles (TV) with a large specific power (over 30 hp/t).

*Keywords:* diesel inertial stand, transmission, disc brake, rotor of inductor brake, inertial mass, two-stage reduction gear.

В настоящее время широко используются инерционные электростенды для исследования трансмиссий и их узлов, в том числе стенды с тремя электродинамометрами, для легких ГМ в виду их простоты, доступности и дешевизны. Эти стенды имеют ограниченные возможности для проведения динамических исследований, так как в них трудно имитировать работу ДВС, которые устанавливаются на транспортных средствах. Кроме того, существующие исследовательские инерционные стенды, как правило, являются дорогостоящими в производстве и эксплуатации.

Актуальным является создание исследовательского стенда трансмиссии с ДВС, в первую очередь дизельным, на базе имеющегося на производящем трансмиссии предприятии технологического оборудования, чтобы уменьшить затраты на изготовление или закупку нового оборудования.

Целью работы является разработка дизельного инерционного стенда упрощенной конструкции с использованием имеющегося технологического оборудования для комплексных исследований механических трансмиссий и их

узлов для легких ГМ и обоснование его функционирования.

Новизной разработки является использование дизельного ДВС с согласующим редуктором, связанным с входным валом механизма передач и поворота (МПП), и компактного ротора индукторного тормоза (РИТ) с согласующим двухступенчатым (с прямой и повышающей ступенью на входе в индукторный тормоз) редуктором в качестве инерционных масс стенда, имитирующих бортовые инерционные массы ГМ, связанные с МПП через дисковые остановочные тормоза (ОТ).

На рис. 1 показана кинематическая схема разработанного дизельного инерционного стенда, на котором используется МПП трансмиссии ГМ массой 17,5 тонн с двухдисковыми ОТ, установленными на корпусе МПП и связанными с выходными валами МПП.

На стенде проводятся исследования по главному фрикциону, по переключению передач, по фрикционным устройствам с новыми порошковыми материалами, по работе ОТ в режиме торможения и поворота ГМ [1], [5].

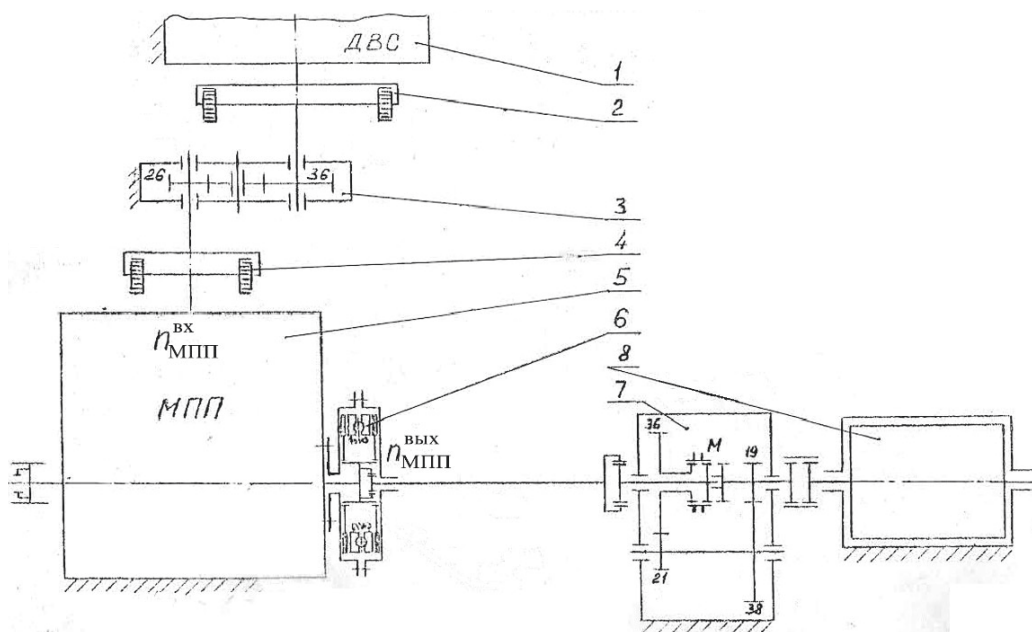


Рис. 1. Кинематическая схема дизельного инерционного стенда:

1 – ДВС; 2 – фрикционная муфта; 3 – согласующий редуктор; 4 – главный фрикцион; 5 – МПП; 6 – ОТ с шариковым нажимным механизмом типа «слезки», с полуромбовым тянущим механизмом включения и гидроцилиндром для усиления; 7 – двухступенчатый согласующий редуктор с зубчатой муфтой М для переключения ступеней; 8 – РИТ;  $n_{МПП}^{вх}$ ;  $n_{МПП}^{вых}$  – обороты соответственно входного вала и выходных валов МПП



На рис. 2 показано изменение кинетической энергии  $W_k$  ГМ от угловой скорости  $\omega$  при  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 2400$  об/мин в изделии и  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 1820$  об/мин для одного ОТ в изделии и на стенде.

Момент инерции поступательного движения ГМ, приведенный к оси ОТ (выходного вала МПП), определяется по формуле:

$$J_{\text{п}} = \frac{G}{g} \cdot \frac{R_{\text{зв}}^2}{i_{\text{бп}}^2} = \frac{17 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 0,292^2 \text{ м}}{9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 7,908^2} = 2,363 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2,$$

где  $G$  – вес ГМ;  $R_{\text{зв}}$  – радиус ведущего колеса гусеничного движителя;  $g$  – ускорение свободного падения;  $i_{\text{бп}}$  – передаточное отношение бортовой передачи ГМ.

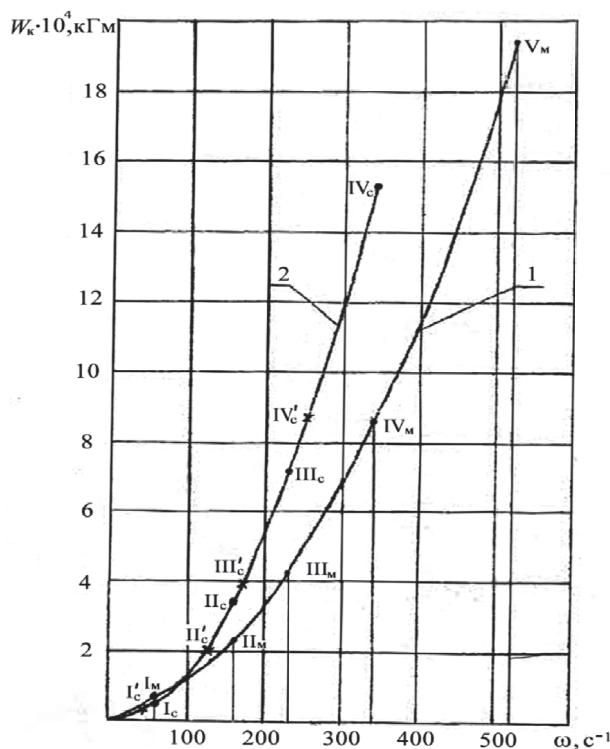


Рис. 2. Изменение кинетической энергии

С добавлением приведенного к оси ОТ момента инерции  $J_{\text{вр}} = 0,693 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$   $W_k$  ГМ (масса 1814 кг, максимальная скорость 70 км/ч) от угловой скорости  $\omega$ : 1 – для одного ОТ в изделии,  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 2400$  об/мин,  $I_m \dots V_m$  – передачи в МПП на ГМ; 2 – для одного ОТ на стенде:  $I_c \dots IV_c$  – передачи в МПП,

$$\omega_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = \sqrt{\frac{2W_{\text{к1}}}{J_{\text{р.прив}}}}, \Rightarrow n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2W_{\text{к1}}}{J_{\text{р.прив}}}} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 149 \cdot 10^3}{2,638}} = 3210 \text{ (об/мин)},$$

$n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 2400$  об/мин и  $I_c \dots V_c$  – передачи в МПП,  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 1820$  об/мин вращающихся деталей полный момент инерции ГМ (приведенный к оси ОТ) равен:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{п}} + J_{\text{вр}} = 2,363 + 0,693 = 3,056 \text{ (кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2 \text{)}.$$

Определение момента инерции РИТ  $J_{\text{р}} = 0,225 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ , связанного с выходным валом МПП, производится по геометрическим размерам РИТ.

С каждой стороны МПП на выходной (на стенде) вал для имитации работы ГМ требуется установить маховик, имеющий момент инерции:

$$J_{\text{мак}} = \frac{3,056 - 0,45}{2} = 1,303 \text{ (кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2 \text{)}.$$

Момент инерции одного РИТ, приведенный к оси ОТ,  $J_{\text{р.прив}} = \frac{J_{\text{р}}}{i_{\text{ред}}^2} = 2,638 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ , что значительно больше, чем требуется для имитации работы ГМ на стенде (примерно в два раза). Здесь  $i_{\text{ред}} = 0,292$  – передаточное отношение двухступенчатого редуктора 7, показанного на рис. 1.

Работа трения двух ОТ МПП на стенде равна кинетической энергии ГМ при движении с максимальной скоростью, определяемой по формуле:

$$W_k = \frac{mV_{\text{мак}}^2}{2} = 298 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м},$$

где  $m = 1784 \text{ кг}$  – масса ГМ;  $V_{\text{мак}} = 65,79 \text{ км/час}$  – максимальная скорость движения ГМ на пятой (высшей) передаче.

Работа трения одного ОТ МПП на стенде:

$$W_{\text{к1}} = 0,5W_k = 149 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Определим угловую скорость вращения вала – выходного вала двухпоточного МПП, при которой кинетическая энергия ОТ стенда равна:

$$W_{\text{к1}} = \frac{J_{\text{р.прив}} \cdot (\omega_{\text{МПП}}^{\text{вх}})^2}{2},$$

где  $\omega_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = \frac{\pi n_{\text{МПП}}^{\text{вх}}}{30}$  – максимальная угловая скорость выходного вала МПП;  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}}$  – частота вращения выходного вала МПП.

причем  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 3210$  об/мин на 4-ой передаче МПП при  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 2400$  об/мин.

Осциллографирование процесса включения ОТ на стенде производится при  $n_{\text{дв}} = 1290$  об/мин, что соответствует  $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 1820$  об/мин. После запуска ДВС (при выключенном главном фрикционе) включается первая передача МПП, включается главный фрикцион и через повышающий редуктор на правом выходном валу МПП раскручивается инерционная масса РИТ. Спустя 0,5...1с после повторного выключения главного фрикциона, включается осциллограф на запись всех необходимых параметров и включается ОТ выходного вала МПП. Торможение производится посредством силового гидроцилиндра ОТ, путем создания в нем рабочего давления масла  $p_{\text{гц}}$  из следующего ряда возможных значений:  $p_{\text{гц}} = 0,2; 0,4; 0,8$  МПа. После остановки вращающейся массой РИТ осциллограф выключается.

Осциллографирование торможений выходного вала МПП при работе с нагрузкой (инерционной массой) повторяется при тех же частотах вращения  $n_{\text{дв}} = 1290$  об/мин ( $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 1820$  об/мин) на II, III, IV передачах в МПП и  $p_{\text{гц}} = 0,2; 0,4; 0,8$  МПа на каждой передаче. Аналогично проводятся работы на другом режиме работы -  $n_{\text{дв}} = 1680$  об/мин ( $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}} = 2400$  об/мин).

По полученный осциллограмме при торможении выходного вала МПП, связанного с РИТ, определяются значения времени  $t_{\text{T}}$  снижения угловых скоростей РИТ с  $\omega_{\text{р.т. max}}$  до нуля. Замедления определяются на примерно равнозамедленном участке осциллограммы с момента начала падения оборотов РИТ до момента  $\omega_{\text{р.т. min}}$ , отстоящего на  $t = 0,4$ с от полной остановки РИТ. По найденному  $t_{\text{T}}$ , определяется сред-

нее угловое замедление выходного вала МПП за этот промежуток времени:

$$\varepsilon_{\text{р.т. ср}} \approx \frac{\omega_{\text{р.т. max}} - \omega_{\text{р.т. min}}}{t_{\text{T}}}, \text{ с}^{-2}.$$

Момент торможения РИТ на  $i$ -ой передаче МПП и на прямой передаче в согласующем двухступенчатом редукторе ( $i_{\text{ред}} = 1$ ):  $M_{\text{T}, i} = J_{\text{p}} \cdot \varepsilon_{\text{р.т. ср}}$ , а без учета трения в опорах РИТ  $M_{\text{T}, i} = (J_{\text{p}} \cdot \varepsilon_{\text{р.т. ср}} - M_{\text{сопр}})$ . Момент трения на валу ОТ (динамический) определяется по формуле:

$$M_{\text{тр}, i} = \frac{J_{\text{p}} \cdot \varepsilon_{\text{р.т. ср}} - M_{\text{сопр}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta},$$

где  $i$  - текущий номер включенной передачи в МПП;  $\eta$  - к.п.д. согласующего двухступенчатого редуктора;  $M_{\text{сопр}}$  - момент трения в опорах РИТ (определяется при свободном вращении РИТ):

$$M_{\text{сопр}} = \frac{2 \cdot W_{\text{к}}}{\omega_{\text{р.с. max}} \cdot t_{\text{о.с.в}}} = \frac{J_{\text{p}} \cdot \omega_{\text{р.с. max}}}{t_{\text{о.с.в}}} = J_{\text{p}} \cdot \varepsilon_{\text{р.с}},$$

где  $W_{\text{к}}$  - кинетическая энергия, развиваемая при вращении РИТ при работе с  $i_{\text{ред}} = 1$ ;  $\omega_{\text{р.с. max}}$  - максимальная угловая скорость свободного вращения РИТ;  $t_{\text{о.с.в}}$  - среднее значение времени остановки свободного вращения РИТ;

$$\varepsilon_{\text{р.с}} \approx \frac{\omega_{\text{р.с. max}} - \omega_{\text{р.с. min}}}{t_{\text{о.с.в}}},$$

где  $\text{с}^{-2}$  - угловое замедление свободного вращения РИТ.

Результаты измерений и сделанных по ним расчетов, например, для определения момента трения в опорах РИТ при свободном вращении представлены в табл. 1. Аналогичные результаты при торможении РИТ с помощью ОТ представлены в табл. 2.

Таблица 1

Определение среднего момента трения  $M_{\text{сопр}, \text{ср}}$  в опорах РИТ

| $n_{\text{МПП}}^{\text{вх}}$ ,<br>об/мин | № передачи<br>МПП | №<br>замедления | $t_{\text{о.с.в}}$ , с | $n_{\text{р.с. max}}^*$ ,<br>об/мин | $\omega_{\text{р.с}}, \text{с}^{-1}$ |                            | $\varepsilon_{\text{р.с}}, \text{с}^{-2}$ |                                | $M_{\text{сопр}, \text{ср}}$ ,<br>кГМ |
|--|-------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|
|  |                   |                 |                        |                                     | $\omega_{\text{р.с. max}}$           | $\omega_{\text{р.с. min}}$ | $\varepsilon_{\text{р.с. max}}$           | $\varepsilon_{\text{р.с. ср}}$ |                                       |
| 2400                                     | III               | 1               | 16,1                   | 1800                                | 188,4                                | 10,7                       | 11,04                                     | 10,6                           | 2,39                                  |
|  |                   | 2               | 18,3                   | 1800                                | 188,4                                | 10,2                       | 9,74                                      |                                |                                       |
|  |                   | 3               | 17,5                   | 1920                                | 201                                  | 7,65                       | 11,05                                     |                                |                                       |
| 1820                                     | IV                | 1               | 20,9                   | 2700                                | 282,6                                | 11,56                      | 12,97                                     | 12,8                           | 2,88                                  |
|  |                   | 2               | 21,9                   | 2700                                | 282,6                                | 6,27                       | 12,62                                     |                                |                                       |

\*  $n_{\text{р.с. max}}$  - максимальная частота свободного вращения РИТ;  $M_{\text{сопр}, \text{ср}}$  - среднее значение момента трения в опорах РИТ.

Таблица 2

Определение момента  $M_{тр}$  трения на валу ОТ\*

| $n_{\text{мш}}^{\text{вх}}$ ,<br>об/мин | №<br>передачи<br>МПП | $n_t$ ,<br>об/мин | $t_T$ , с | $\omega_{p.t.}$ , с <sup>-1</sup> |       | $\varepsilon_{p.t.}$ , с <sup>-2</sup> |      |     | $M_{т.і}$ , кГМ |      |      | $M_{т.і}$ ,<br>кГМ | $M_{тр.і}$ ,<br>кГМ |
|---|----------------------|-------------------|-----------|-----------------------------------|-------|--|------|-----|-----------------|------|------|--------------------|---------------------|
|   |                      |                   |           | max                               | ср.   | max                                    | min  | ср. | max             | min  | ср.  |                    |                     |
| 2400                                    | III                  | 7800              | 3,49      | 817                               | 408,5 | 471                                    | 78,5 | 275 | 106             | 17,6 | 62,5 | 60,0               | 214                 |
| 1820                                    | IV                   | 8400              | 4,83      | 880                               | 440,0 | 310                                    | 62,8 | 186 | 69,8            | 14,5 | 40,8 | 37,9               | 135                 |

\* – ротор при торможении связан с МПП через редуктор с  $i_{ред} = 0,292$ ;  $p_{тн} = 0,8$  МПа;  $\omega_{p.t.min} = 0$ ;  $M_{т.і}$  – момент торможения РИТ на  $i$ -й передаче МПП и на прямой передаче в согласующем двухступенчатом редукторе ( $i_{ред} = 1$ );  $M_{т.і}$  – момент торможения без учета трения в опорах РИТ;  $n_t$  – частота вращения РИТ в начале торможения;  $t_T$  – время торможения.

Компактный простой многофункциональный инерционный дизельный стенд для комплексных исследований механических трансмиссий ГМ экономичен в производстве и может быть использован при исследовании трансмиссий ГМ и их узлов, например, дисковых ОТ с новыми порошковыми фрикционными материалами сухого трения на секторных накладках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. – М.: Машиностроение, 2001. – 736 с.

2. Чердниченко, Ю. И. Испытания автомобильных гидромеханических передач / Ю. И. Чердниченко. – М.: Машиностроение, 1969. – 219 с.

3. Иогансон, Р. А. Индукторные тормоза / Р. А. Иогансон. – М.: Энергия, 1966. – 104 с.

4. Крыхтин, Ю. И. Спеченные материалы на Fe-основе для фрикционных устройств большой удельной мощности / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Трение и износ. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2020. – Том 41, № 2. – С. 180–187.

5. Крыхтин, Ю. И. Испытания новых фрикционных изделий сухого трения на Fe-основе для повышения надежности и долговечности работы трансмиссий легких гусеничных машин / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 39–42.

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-19-23

**В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин, С. Е. Червонцев**

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРЕВА ДЕТАЛЕЙ ДВУХДИСКОВОГО  
ОСТАНОВОЧНОГО ТОРМОЗА ЛЕГКОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ  
ПРИ РАБОТЕ НА ДИЗЕЛЬНОМ ИНЕРЦИОННОМ СТЕНДЕ\***

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: au@vstu.ru

Разработана методика определения нагрева деталей двухдискового остановочного тормоза (ОТ) для механизма передач и поворота (МПП) легкой транспортной гусеничной машины (ГМ) с большой удельной мощностью (свыше 30 л.с./т) при работе на дизельном инерционном стенде.

*Ключевые слова:* тепловое поле, нагрев, термопара, остановочный дисковый тормоз, скорость скольжения, порошковый спеченный фрикционный материал, дизельный инерционный стенд.

**V. I. Karlov, Yu. I. Krykhtin, S. E. Chervoncev**

**METHOD FOR DETERMINING HEATING OF DUAL-DISC STOP BRAKE PARTS  
OF A LIGHT TRACKED MACHINE WHEN OPERATING ON A DIESEL INERTIA STAND**

**Volgograd State Technical University**

A method has been developed for determining the heating of parts of a double-disc stopping brake for the gear and turning mechanism of a light transport tracked vehicle with a high specific power (over 30 hp / t) when operating on a diesel inertia stand.

*Key words:* thermal field, heating, thermocouple, stopping disc brake, sliding speed, powder sintered friction material, diesel inertia stand.

© Карлов В. И., Крыхтин Ю. И., Червонцев С. Е., 2021.

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту № 19-48-340021.

Для определения нагрева в исследовательских целях при длительной работе трущихся деталей тормозных и фрикционных механических устройств МПП легких гусеничных машин используются одиночные термодпары, устанавливаемые в индивидуальном порядке в определенных местах устройств, которые измеряют температуру в этих точках с некоторой точностью, но не дают достаточного количества данных измерений, необходимых для объективной оценки теплового поля исследуемой детали в зависимости от показателей эксплуатации [1]. Аналогичным образом в исследовательских целях измеряют нагрев деталей при их механической обработке режущим инструментом или нагрев артиллерийских стволов при частой и длительной стрельбе. Так, например, нагрев наружной поверхности ствола измеряется в отдельных точках с помощью термодатчиков, устанавливаемых на поверхности ствола. Нагрев внутренней поверхности ствола со стороны затвора (в начале винтовой нарезки) или дульного тормоза определяется после выстрела с помощью переносных измерительных устройств, а со стороны эжекторного устройства - пирометром.

Разработка методики комплексного определения нагрева всех трущихся деталей дискового ОТ МПП легкой ГМ при испытании новых спеченных порошковых фрикционных материалов на Fe-основе на дизельном инерционном стенде является актуальным вопросом.

Целью работы является разработка методики комплексного определения нагрева корпусных деталей и нажимных дисков двухдискового ОТ МПП легкой ГМ с большой удельной мощностью и большим количеством длительных торможений при работе на дизельном инерционном стенде в одинаковых условиях с большими скоростями скольжения фрикционной пары – спеченный порошковый фрикционный материал сухого трения на Fe-основе типа СМК-80 по комбинированному контртелу – чугун (корпус и крышка)/сталь (нажимные диски).

Новизной исследовательской работы является разработка методики определения нагрева каждой невращающейся детали дискового ОТ с использованием электрических сигналов от термодпар типа «хромель-алюмель», расположенных в трех слоях и равнорасположенных по окружности в трех местах на двух радиусах трения - максимальном и среднем.

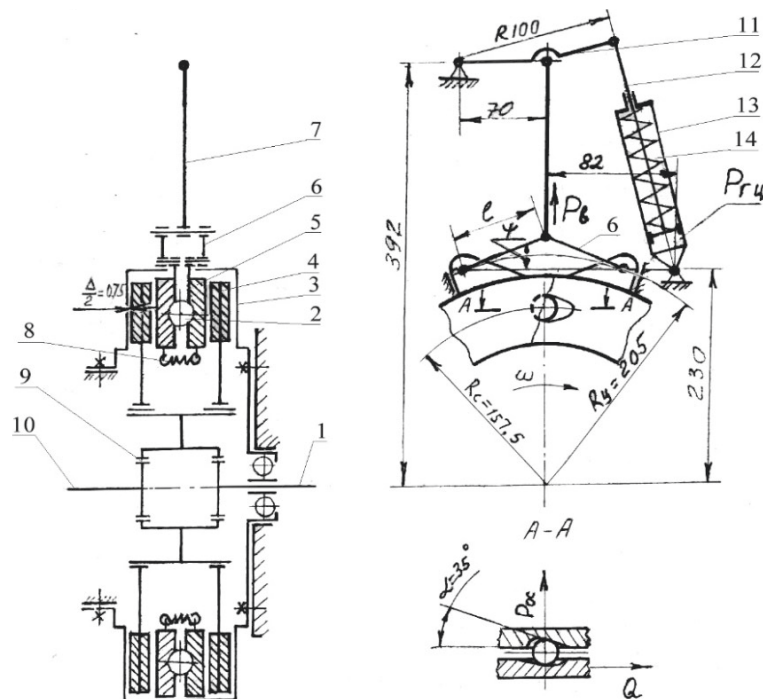


Рис. 1. Схема ОТ и привода его включения от гидроцилиндра:

1 – вал МПП; 2 – шарики «слезкового» механизма; 3 – корпус тормоза; 4 – диск трения; 5 – диск нажимной; 6 – тяги; 7 – тяга; 8 – стяжная пружина; 9 – зубчатая муфта; 10 – вал торсионный; 11 – двуплечий рычаг; 12 – шток гидроцилиндра; 13 – корпус гидроцилиндра; 14 – пружина;  $P_{гч}$  – давление рабочей жидкости в гидроцилиндре;  $Q$  – окружное усилие;  $P_{ос}$  – осевое усилие;  $P_{в}$  – усилие на центральной тяге привода к механизму включения ОТ. Указанные размеры в мм

На инерционном стенде, в котором в качестве инерционных масс по бортам применяется ротор индукторного тормоза (РИТ) [2] с моментом инерции  $J_p = 0,225 \text{ кг м}^2$  с двухступенчатым повышающим редуктором на входе в индукторный тормоз, связанным с ведущим валом ОТ (выходным валом двухпоточного пятискоростного МПП), испытывался двухдисковый ОТ [1, 2]. На рис. 1 показана схема ОТ [3, 4] и привода его включения от гидроцилиндра. Привод управления ОТ с шариковым механизмом включения, с механическим и гидравлическим сервированием. В тормозах использовались детали в качестве контртел: 1) диск нажимной левый, правый – сталь 45Х ГОСТ 4543–71, НВ262...371; 2) крышка тормоза левая, правая, корпус левый, правый – чугун СЧ

18-36 ГОСТ 1412–70, НВ 170...229.

Поверхности контртел сплошные, на дисках трения применены секторные накладки со спеченным фрикционным материалом на железной основе типа СМК-80 [5, 6].

Наружный диаметр плоскости трения в ОТ  $D_{\text{max}} = 363 \text{ мм}$ , средний диаметр плоскости трения  $D_{\text{ср}} = 315 \text{ мм}$ . Для изготовления накладок использовались чашечные стальные каркасы с покрытием Н18М. Заготовки накладок прошлифованы с рабочей стороны и по каркасам для устранения коробления. Несущие диски имеют плавающие крепления к накладкам.

На рис. 2. показаны места установки термопар, на рис. 3. показаны установки термопар на разных уровнях.

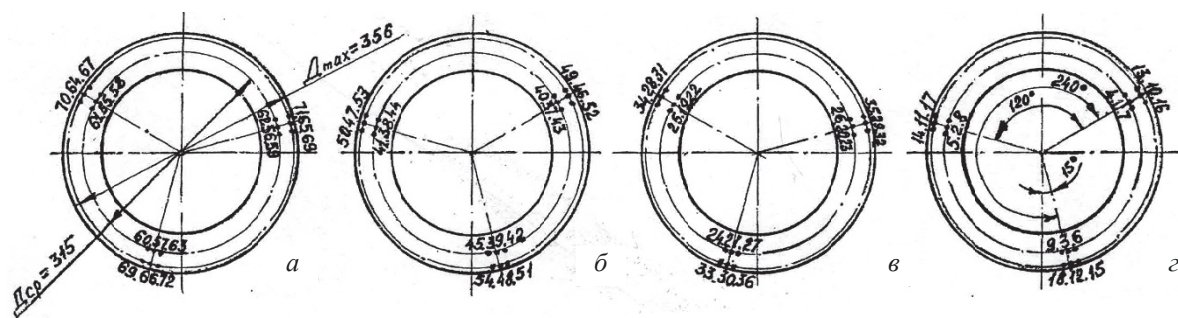


Рис. 2. – Места установки термопар для правого ОТ:  
а – корпус; б – левый нажимной диск; в – правый нажимной диск; з – крышка



Рис. 3. Установки термопар на разных уровнях

Запись температуры на нажимных дисках и корпусных деталях правого ОТ, перемещение элемента управления ОТ, числа оборотов входного и выходного вала МПП, давление в силовом гидроцилиндре ОТ, момента на выходном валу правого МПП производилась одновременно на двух осциллографах К 12-22. Запись температуры на нажимных дисках и корпусных деталях тормозов производилась с термопар типа «хромель-алюмель» диаметром 0,3 мм по безусилительной схеме непосредственно на осциллограф.

Термопары вваривались серебряным припоем  $P_{\text{ср}} - 45$  в медные трубки диаметром 5 мм, а трубки вворачивались в детали ОТ.

Испытания по замерам температур проводились в два этапа: первый этап (I) – испытания пар трения одного ведущего диска ОТ; второй этап (II) – испытания пар трения другого ведущего диска ОТ с использованием одного из двух положений переключателя на коммутационной коробке П2-Т5 для каждой пары трения и с использованием соответствующих восемнадцати термопар на каждой из невращающихся деталей, входящих в эту пару.



Разработана методика определения нагрева трущихся деталей ОТ:

1. Определение мест установки термопар на невращающихся деталях ОТ.

2. Разработка конструкции термопары «хромель-алюмель» и установка термопар в трущихся деталях ОТ на разных уровнях (0; 1,5 мм; 3 мм), в разных местах по окружности (0; 120°; 240°), на разных радиусах трения.

3. Подготовка измерительной аппаратуры для записи температуры на нажимных дисках и корпусных деталях ОТ

4. Проведение штатных силовых испытаний ОТ на дизельном инерционном стенде с одновременным комплексным замером температур на корпусных деталях и нажимных дисках ОТ в одинаковых условиях эксплуатации поочередно для каждой детали в 18 точках.

5. Проведение замеров температуры на трущихся деталях ОТ при штатных силовых испытаниях по этапам I и II с использованием двух положений переключателей на коммутационной коробке П2-Т5 и с получением осциллограмм нагрева деталей.

6. Расшифровка осциллограмм с температурными замерами.

7. Анализ результатов измерений средних температур на поверхности трения на корпусе, крышке и нажимных дисках ОТ при проведении в одинаковых условиях штатных испытаний на стенде в зависимости от режима работы ДВС, номера передачи в МПП, начальной скорости  $V_{ск}$  скольжения трущихся деталей, удельной работы трения за одно торможение  $W_{уд}$ , давления в гидроцилиндре ОТ:  $p_{гц} = 0,2; 0,4; 0,8$  МПа, мест установки термопар на поверхности трения и на разных радиусах трения и объемных температур в указанных выше условиях на разных уровнях от поверхности трения деталей для определения температурного градиента и тепловых полей на деталях ОТ.

В таблице представлены результаты измерения температуры на третьей передаче в МПП на максимальном радиусе трения трущихся деталей ОТ при следующих параметрах: давлении в гидроцилиндре ОТ  $p_{гц} = 0,8$  МПа, удельном давлении на поверхности трения  $q = 0,136$  МПа,  $n_{МПП}^{вх} = 2400$  об/мин. На рис. 4 представлены температуры на крышке тормоза при вышеперечисленных параметрах после девяти торможений на разных передачах в МПП.

Температура на деталях ОТ\*

| Детали с поверхностями трения | $V_{ск}$ , м/с | $W_{уд}$ , кГ/см <sup>2</sup> | N  | Температура на деталях ОТ, °С        |     |     |                              |     |     |                            |     |     |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----|--------------------------------------|-----|-----|------------------------------|-----|-----|----------------------------|-----|-----|
|                               |                |                               |    | Углы мест установки термопар, градус |     |     |                              |     |     |                            |     |     |
|                               |                |                               |    | На поверхности трения                |     |     | 1,5 мм от поверхности трения |     |     | 3 мм от поверхности трения |     |     |
|                               |                |                               |    | 0                                    | 120 | 240 | 0                            | 120 | 240 | 0                          | 120 | 240 |
| Крышка                        | 36,8           | 190,3                         | 9  | 218                                  | 180 | 171 | 201                          | —   | 160 | 185                        | 189 | —   |
| диск нажимной наружный        |                |                               | 12 | 105                                  | 159 | 116 | 106                          | —   | 106 | 113                        | 112 | 102 |
| диск нажимной внутренний      |                |                               | 3  | 74                                   | 90  | 37  | 57                           | 91  | 67  | 69                         | 89  | 41  |
| корпус                        |                |                               | 6  | 56                                   | 37  | 54  | 21                           | 57  | 31  | 30                         | 44  | 39  |

\*  $V_{ск}$  – начальная скорость скольжения;  $W_{уд}$  – удельная работа трения (одно торможение); N – число торможений

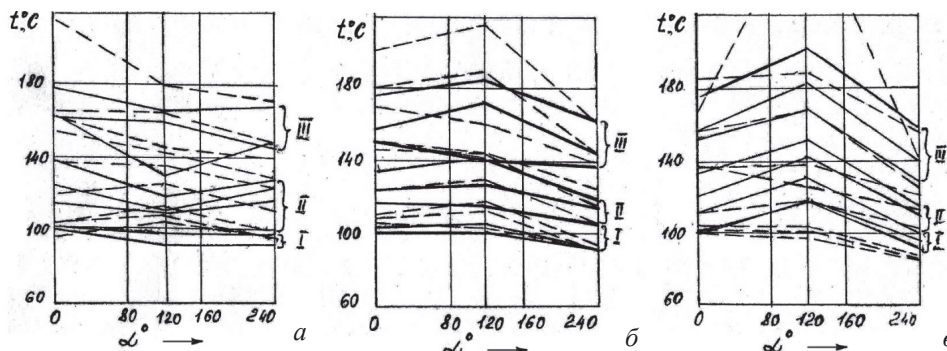


Рис. 4. Максимальные температуры на крышке тормоза:

$a$  – поверхность трения;  $b$  – 1,5 мм от поверхности трения;  $v$  – 3 мм от поверхности трения;

$\alpha$  – угол расположения термопар; — — — — — средний и — — — — — максимальный радиус поверхности трения; I...III – передачи МПП

Предлагаемая методика количественного определения нагрева всех трущихся невращающихся деталей двухдискового ОТ при работе на дизельном инерционном стенде с использованием электрических сигналов с большого количества термодатчиков типа «хромель-алюмель» позволяет объективно и полноценно оценить тепловую напряженность – нагрев трущихся деталей ОТ в процессе его эксплуатации в МПП ГМ массой 18 т на дизельном инерционном стенде. Методика позволила при штатных испытаниях на дизельном инерционном стенде подтвердить высокую теплостойкость спеченного порошкового фрикционного материала сухого трения на Fe-основе типа СМК-80 на ведущем диске ОТ при работе с высокими скоростями скольжения, с поверхностной температурой фрикционного контакта выше 350 °С. Методика особенно эффективна при большом количестве повторяющихся торможений на высших передачах в МПП.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чердниченко, Ю. И.* Испытания автомобильных гидромеханических передач / Ю. И. Чердниченко. – М. : Машиностроение, 1969. – 219 с.
2. *Иогансон, Р. А.* Индукторные тормоза / Р. А. Иогансон. – М. : Энергия, 1966. – 104 с.
3. Тормозные устройства / под редакцией М. П. Александрова. – М. : Машиностроение, 1985. – С. 132.
4. *Труханов, В. М.* Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. – М. : Машиностроение, 2001. – 736 с.
5. *Крыхтин, Ю. И.* Испытания новых фрикционных изделий сухого трения на Fe-основе для повышения надежности и долговечности работы трансмиссий легких гусеничных машин / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 39–42.
6. *Крыхтин, Ю. И.* Спеченные материалы на Fe-основе для фрикционных устройств большой удельной мощности / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Трение и износ. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2020. – Том 41, № 2. – С. 180–187.

УДК 621.7:658.1

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-23-28

*Р. Д. Королев<sup>1</sup>, П. Ю. Бочкарев<sup>2</sup>, Л. Г. Бокова<sup>1</sup>*

#### ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ НАЗНАЧЕНИЯ БАЗОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «СГТУ им. Ю. А. Гагарина»

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «СГАУ им. Н. И. Вавилова»

E-mail: rihardkorolev@mail.ru, bpy@mail.ru, bokovalg@mail.ru

В статье представлен метод количественной оценки производственной технологичности изделий. Метод позволяет провести оценку соответствия конструктивных особенностей детали с позиции удовлетворения принципу единства и постоянства баз при проектировании технологических процессов. Применяемый метод позволяет повысить производительность технологического оборудования при обработке деталей за счет учета результатов оценки производственной технологичности.

*Ключевые слова:* технологическая подготовка производства, технологическое оборудование, принцип единства и постоянства баз, количественный показатель производственной технологичности.

*R. D. Korolev<sup>1</sup>, P. Yu. Bochkarov<sup>2</sup>, L. G. Bokova<sup>1</sup>*

#### EVALUATION OF THE PRODUCTION PROCESSABILITY OF PARTS WITH THE PREDICTION OF THE PURPOSE OF THE BASE SURFACES

<sup>1</sup> Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

<sup>2</sup> Saratov State Vavilov Agrarian University

The article presents a method for quantifying the production manufacturability of products. This method allows us to evaluate the compliance of the design features of the part from the point of view of implementing the principle of unity and constancy of bases in the design of technological processes. The applied method allows to increase the productivity of technological equipment in the processing of parts by taking into account the results of the assessment of production manufacturability.

*Keywords:* technological preparation of production, technological equipment, the principle of unity and constancy of bases, quantitative indicator of production manufacturability.

Создание методического обеспечения установления взаимосвязей между проектными процедурами и целевыми функциями конструкторской и технологической подготовки машиностроительных производственных комплексов становится наиболее актуальной в связи с возрастающей конкуренцией и задачей обеспечения рентабельной работы оборудования в процессе реализации технологических процессов с обязательным выполнением требований к изготавливаемым деталям, заданным на этапах конструирования.

На ведущем месте развития производственных систем стоит комплекс вопросов, связанных с оценкой производственной технологичности деталей. Оценка технологичности деталей, в соответствии с существующими методиками и нормативными документами подготовки производства, зависит от субъективных знаний и опыта конструктора и технолога, что зачастую не обеспечивает качественное принятие решений, базирующихся на знаниях о реальном состоянии и информации о постоянно развивающихся возможностях современных производственных систем. Для отражения связей между затратами при изготовлении изделий и их конструктивными особенностями используется оценка технологичности, которая довольно противоречива и не имеет в настоящее время полного строгого описания ее проведения [1], [2].

Пути устранения этих проблем являются: расширение номенклатуры показателей оценки производственной технологичности, направленных на учет особенностей конкретных производственных систем и подходов к технологической подготовке производства; определению весовых значений каждого из этих показателей в зависимости от номенклатуры обрабатываемых деталей и характеристик реального производства [3], [4], [5].

Целью является совершенствования методики оценки производственной технологичности на основе разработки дополнительных показателей, связанных с постоянно обновляемыми требованиями к производству, повышению качеству продукции, рациональному использованию оборудования.

В работах [6], [7] представлены показатели позволяющие ориентировать оценку технологичности на особенности многономенклатурных

систем механообработки и учитывающие условия конкретной производственной системы, установления взаимосвязей между производственной технологичностью и ее влиянием на технологические составляющие обработки, а также обоснован состав дополнительных показателей оценки производственной технологичности для использования в системе планирования многономенклатурных технологических процессов.

В технологии машиностроения существует основное правило при назначении технологических баз, это принцип единства и постоянства баз, существующие показатели оценки технологичности не дают возможности спрогнозировать на сколько конструкция детали соответствует этим принципам. Для устранения этого недостатка предлагается введение новых показателей количественной оценки производственной технологичности, которые позволяют дать заключение о возможности при разработке технологического процесса соблюдения принципа единства и постоянства баз.

Разработку новых показателей количественной оценки производственной технологичности рассмотрим на примере детали «Фланец» (рис. 1). Деталь «Фланец» входит в оборудование трубопроводных систем (рис. 2), относится к неклассическим видам фланцев и имеет ряд особых требований при изготовлении.

Для анализа конструктивных взаимосвязей детали первоначально определяется количество сечений, в которых строятся размерные схемы, позволяющие дать полную информацию о размерных и пространственных характеристиках расположения отдельных элементов детали.

Деталь «Фланец» предлагается исследовать посредством четырех секущих плоскостей и соответственно четырех размерных схем, представленных в виде одного линейного и трех диаметральных графов (рис. 3),

где  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – размерные характеристики;  $T_1, T_2, \dots, T_n$  – точностные характеристики поверхностей детали,



– номер поверхности в соответствии нумерацией поверхностей на конструкторском чертеже (рис. 1), ниже номера – кодировка элементарной поверхности в системе планирования технологических процессов.

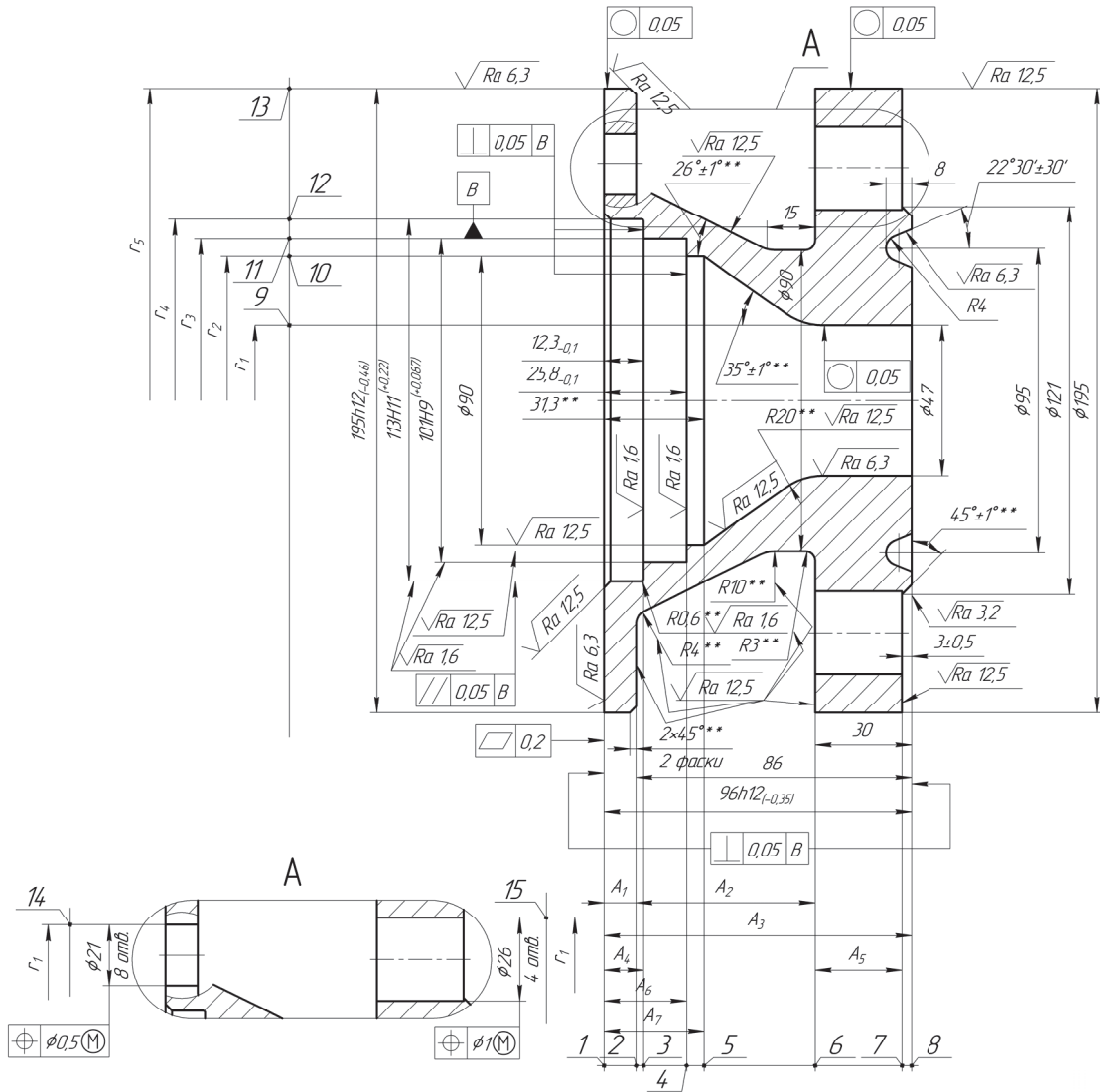


Рис. 1. Конструкторский эскиз детали «Фланец»

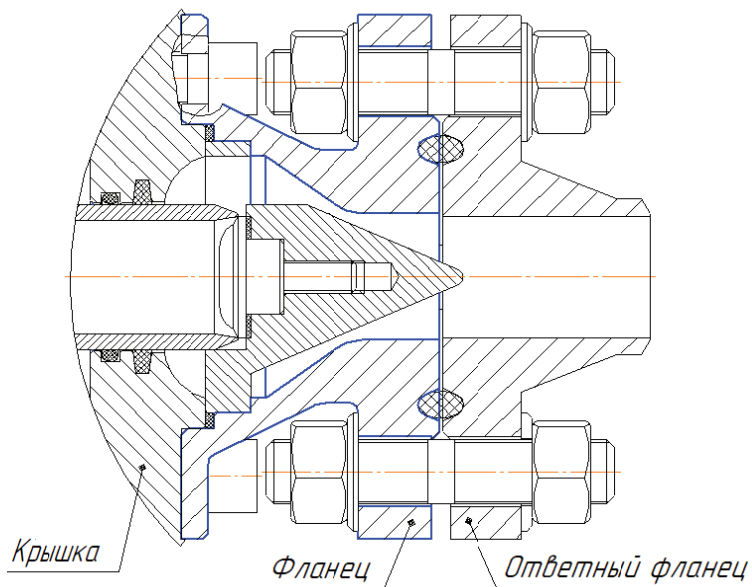


Рис. 2. Деталь «Фланец», входящая в изделие регулятора РДУ-80-50



Для оценки технологичности детали с позиции прогнозирования степени удовлетворения требования единства баз при проектировании технологического процесса ее изготовления, необходимо проанализировать сведения по конструкторским эксплуатационным базам детали при работе ее в узле (рис. 2).

Деталь «Фланец» входит в состав изделия регулятора давления газа РДУ-80-50, предназначенный для редуцирования газа высокого давления на газораспределительных станциях, и служит для соединения с одной стороны крышкой, а с другой стороны с ответным фланцем. Для данной детали конструкторскими базами явля-

ются: поверхности 14 и 15 (рис. 1). Для фиксации данной информации в построенные графы вводим дополнительное обозначение для поверхностей детали, являющихся конструкторскими базами, конструкторские базовые поверхности на графе дополнительно включены в квадрат. При выборе технологических баз в процессе разработки технологических процессов значительное внимание кроме размеров уделяется геометрическим характеристикам поверхностей (отклонения от геометрической формы и параметрам отклонения), с этой целью граф насыщается данной информацией, полученной с конструкторского чертежа детали (рис. 3).

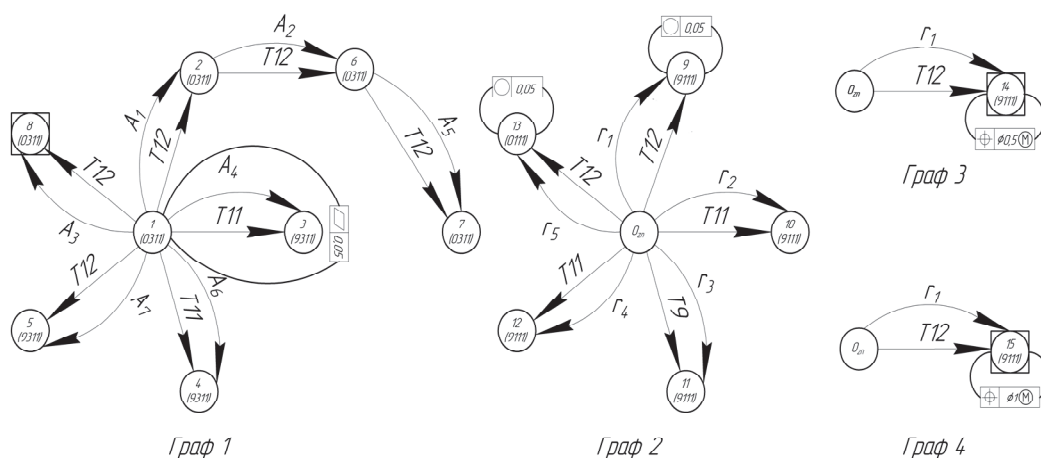


Рис. 3. Графы, дополненные информацией о конструкторских базах и требованиях к геометрическим характеристикам поверхностей

Особо важно для выполнения требований единства и постоянства баз при разработке технологического процесса кроме размерных и геометрических характеристик учет требований, заложенных в конструкторской документации, регламентирующих взаимное расположение поверхностей относительно друг друга. Отдельно необходимо учесть позиционный допуск, который включает в себя отклонение от геометрической формы и взаимное расположение поверхностей. В связи с этим граф дополнен соответствующей информацией (рис. 4).

Представленный граф позволяет провести формализацию данных о конструктивных характеристиках детали, необходимых для проведения анализа по соответствию ей требований с позиции назначения рациональных технологических баз при последующей разработке технологического процесса ее изготовления. Данная информация представляется в виде таблицы, включающей для каждого размера и других конструкторских требований данные о связях между всеми элементами детали.

На основе представленной последовательности формирования информации предложена модель для определения новых количественных показателей производственной технологичности, которые отражают связь между конструктивными особенностями детали и возможностью разработки для нее технологического процесса в соответствии с принципами единства и постоянства баз.

Показатель производственной технологичности детали, отражающий возможность соблюдения принципа единства баз при разработке технологического процесса в части поверхности детали, являющейся основной конструкторской базой.

$$K_{EO} = \frac{\sum_{i=1}^M NO_i}{M},$$

где  $M$  – общее количество размеров (требований) на конструкторском чертеже детали, устанавливающих взаимосвязи между поверхностями;  $NO_i \in \{0,1\}$  – указывает на наличие или отсутствие взаимосвязи элементарных поверхностей с основной конструкторской базой установленный  $i$  – размером или требованием.



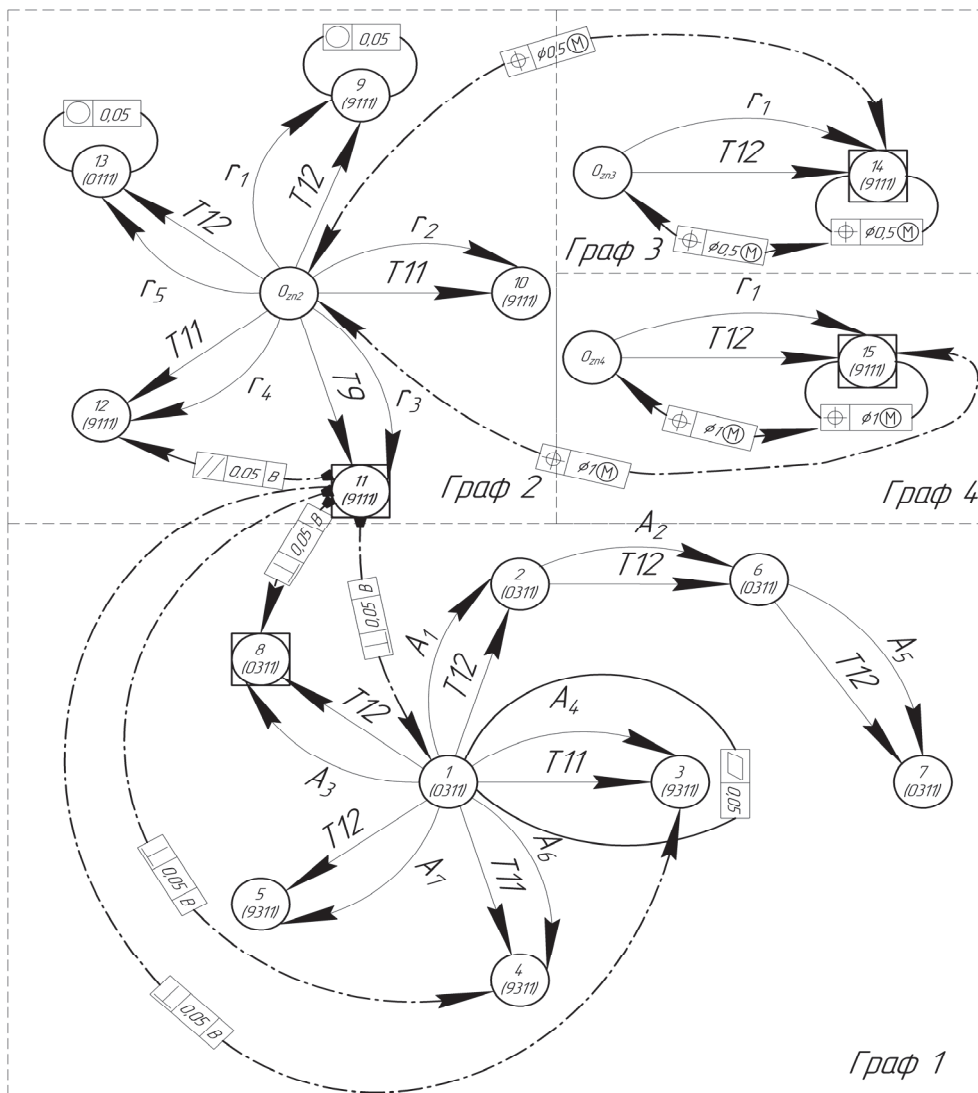


Рис. 4. Графы, дополненные информацией о конструкторских базах, требованиям к геометрическим характеристикам поверхностей и их взаимному расположению

Показатель производственной технологичности детали, отражающий возможность соблюдения принципа единства баз при разработке технологического процесса в части поверхностей детали, являющихся основной и вспомогательными конструкторскими базами.

$$K_{EOB} = \frac{\sum_{i=1}^M NOB_i}{M},$$

где  $NOB_i \in \{0,1\}$  указывает на наличие или отсутствие взаимосвязи элементарных поверхностей с вспомогательными конструкторскими базами, установленный  $i$  – размером или требованием.

Проведенный расчет показателей для детали «Фланец»  $K_{EO} = 0.28$ ,  $K_{EOB} = 0.55$ .

Представленные количественные показатели оценки производственной технологичности расширяют и углубляют знания, получаемые на

этапе отработки деталей на технологичность и учета специфики технологической подготовки единичного и серийного производства.

Предлагаемая методика и полученные результаты по использованию предлагаемых количественных дополнительных показателей производственной технологичности позволяют спрогнозировать возможность назначения рациональных технологических баз при разработке технологического процесса изготовления деталей. Разработанные показатели совместно с известными показателями дают более полное представление о соответствии конструкции детали технологическим методам обработки и позволяют более точно спрогнозировать эффективность функционирования производственных систем при изготовлении деталей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев, А. С.* Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А. С. Васильев, А. М. Дальский, Ю. М. Зологаревский, А. И. Кондаков ; под ред. А. И. Кондакова. – М. : Машиностроение, 2005. – 352 с.
2. *Суслов, А. Г.* Технология машиностроения : учебник / А. Г. Суслов. – М. : Кнорус, 2013. – 336 с.
3. *Митин, С. Г.* Автоматизация оценки производственной технологичности изделия в условиях многономенклатурных производственных систем / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова // Научные труды в машиностроении. – 2014. – № 9 (39). – С. 44–48.
4. *Бокова, Л. Г.* Разработка показателей для оценки производственной технологичности деталей в системе планирования технологических процессов механообработки / Л. Г. Бокова, П. Ю. Бочкарев // Вектор науки

Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 3–1 (33–1). – С. 29–35.

5. *Бокова, Л. Г.* Оценка производственной технологичности деталей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов: учеб. пособие [Электронный ресурс] / Л. Г. Бокова, П. Ю. Бочкарев, Р. Д. Королев. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2018.

6. *Бочкарев, П. Ю.* Оценка производственной технологичности деталей в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем / П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 1 (40). – С. 250–254.

7. *Бочкарев, П. Ю.* Оценка производственной технологичности : учеб. пособие / П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова. – СПб. : Изд-во «Лань», 2017. – 132 с.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-28-31

*О. А. Курсин, Д. А. Ивон Нкеуа, М. Ю. Полянчикова, А. А. Жданов*

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ  
ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: slone1@mail.ru

Статья посвящена исследованию нового метода хонингования с предварительной криогенной обработкой, который повышает качество обработанной поверхности изделий из низкоуглеродистых сталей.

*Ключевые слова:* хонингование, низкоуглеродистая сталь, криогенная обработка.

*O. A. Kursin, J. A. Yvon Nkeoua, M. Yu. Polyanchikova, A. A. Zhdanov*

**IMPROVE THE SURFACE QUALITY DURING HONING WITH PRELIMINARY  
CRYOGENIC TREATMENT OF PRODUCTS FROM LOWCARBON STEELS**

**Volgograd State Technical University**

The article is devoted to the study of a new method of honing with preliminary cryogenic treatment, which improves the quality of the machined surface of low-carbon steel products.

*Keywords:* honing, quality of a surface, low carbon steel, cryogenic processing.

Наиболее пятидесяти процентов территории Российской Федерации расположено севернее изотермы января с температурой  $-20^{\circ}\text{C}$ . Такие районы, как Заполярье, Якутия, Сибирь, Дальний Восток, шельф Северного Ледовитого океана, характеризуются большими запасами полезных ископаемых и перспективны в промышленном отношении. Машины и механизмы в этих условиях работают при низких температурах. Стали для этих условий должны обеспечивать необходимую прочность в сочетании с высокой вязкостью и пластичностью, обладать малой чувствительностью к концентраторам напряжений и низкой склонностью к хрупкому разрушению [1], [2]. Поэтому для данных машин применяют морозостойкие низкоуглеродистые стали, например X12MФ, 09Г2С и 12Х18Н10Т.

Процесс хонингования зачастую является последней технологической операцией. Однако хонингование «мягкой» нержавеющей стали 12Х18Н10Т, X12МФ и морозостойкой стали 09Г2С дает плохое качество поверхности: образуются наплывы вдоль следа обработки и появляются задиры.

Итоги опытов различными исследованиями [3], [4], [5], [6], [7] подтверждают, что характеристики микрорельефа хонингованных поверхностей зависят от твердости материала заготовки (рис. 1), что показывает необходимость повышения твердости поверхности перед обработкой. Однако на низкоуглеродистых сталях применение закалки приносит незначительные результаты.

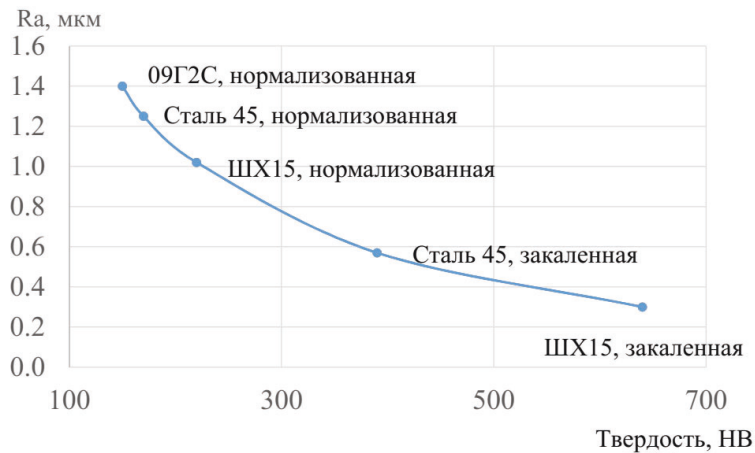


Рис. 1. Зависимость среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$  от твердости поверхности при хонинговании сталей

Известны способы повышения твердости поверхности, такие как азотирование (рис. 2, *а*) [8], цементация (рис. 2, *б*) [9], борирование (рис. 2, *в*) [10], лазерное легирование поверхностного слоя (рис. 2, *г*) [11].

Однако данные направления в ряде случаев неприменимы [12]. Так как термохимические способы повышения твердости поверхности

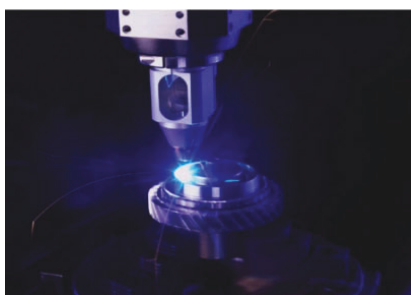
имеют общие недостатки: снижение коррозионной стойкости изделий, что особенно значимо для химической и пищевой промышленности, а также возникновение тепловых деформаций крупногабаритных изделий, возникающих при распределении внутренних напряжений вследствие нагрева до температур 700–950 °С.



*а*



*б*



*в*



*г*

Рис. 2. Способы повышения твердости поверхности

Передовым решением в доводочных операциях является предварительная криогенная обработка. Данный способ заключается в том, что детали и механизмы помещаются в криогенный процессор, где они медленно охлаждаются

и после выдерживаются при температуре минус 196 °С в течение определенного времени. Затем обрабатываемые изделия постепенно возвращаются к комнатной температуре. Во время этого процесса в металле происходят структур-

ные изменения. Они существенно повышают износостойкость, циклическую прочность, коррозионную и эрозионную стойкость.

Обработка холодом применяется дополнительно к обыкновенной закалке и заключается в том, что изделие после закалки на мартенсито-аустенит подвергается охлаждению до низких температур (ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). При этом часть остаточного аустенита переходит в мартенсит вследствие установленной закономерности в развитии превращения аустенита по мере понижения температуры вплоть до нижней мартенситной точки  $M_k -1$ . В результате обработки холодом происходит превращение остаточного аустенита в мартенсит и, следовательно, изменяются все свойства стали, начиная от механических и кончая магнитными.

Согласно проведенным исследованиям [13], на стали X12MФ очевидно, что в дополнение к известному эффекту трансформации остаточного аустенита в мартенсит с соответствующим увеличением твердости криогенная обработка приводит к кристаллографическим изменениям микроструктуры материала, которые отчетливо проявляются при повторном нагреве (отпуске) в виде равномерного распределения мелкодисперсных карбидов. Влияние температуры криогенной обработки стали X12MФ и температуры аустенизации на количество карбидов представлено на рис. 3.

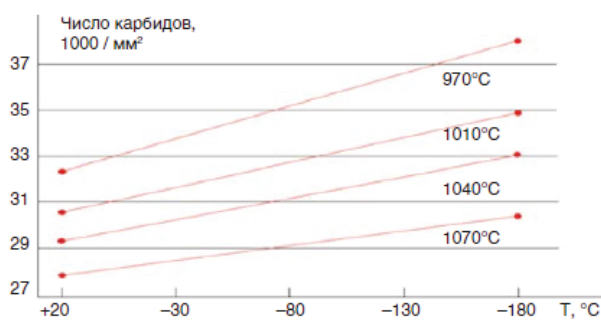


Рис. 3. Влияние температуры криогенной обработки стали X12MФ на количество карбидов

Существенное влияние на рост числа карбидов оказывает и время выдержки при криогенной температуре (рис. 4). Экстремум функции количества карбидов от времени выдержки при криогенной температуре приходится на длительную выдержку, равную 36 часам (рис. 4). Влияние температуры криогенной обработки на уровень износа стали X12MФ при различных температурах закалки представлено на рис. 5. Следует отметить, что криогенная обработка

однозначно повышает износостойкость стали X12MФ, закаленной при различных температурах. Причем наибольший прирост износостойкости установлен в результате экспериментов при температуре минус  $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

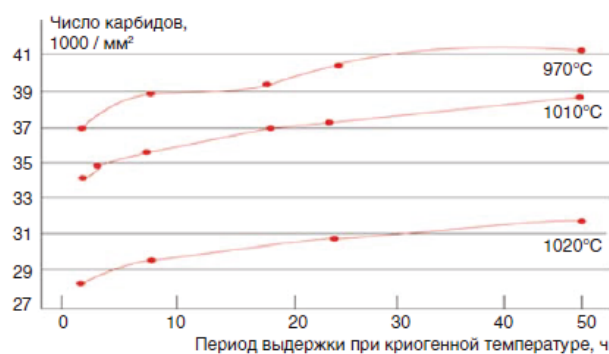


Рис. 4. Влияние времени выдержки при криогенной температуре  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  на количество карбидов в стали X12MФ

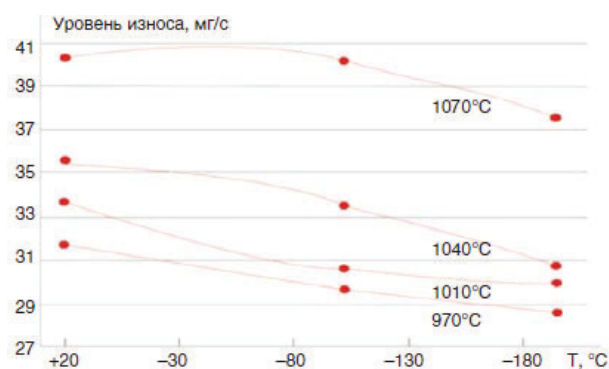


Рис. 5. Влияние температуры криогенной обработки на уровень износа стали X12MФ

Прирост износостойкости стали X12MФ в результате криогенной обработки составляет от 11 до 14 % при различных температурах закалки. Более 30 % прироста износостойкости можно получить в результате криогенной обработки в случае оптимизации режимов термообработки (закалки).

Отмеченные особенности криогенной обработки подтвердили принадлежность криогенного воздействия к термическим видам обработки и их тесной (комплексной) связи при влиянии на конечный результат. Результаты проведенных исследований показывают наличие нового, ранее не изученного, эффекта роста числа карбидов в структуре материала при криогенных температурах.

Таким образом, можно сделать вывод, что направлением повышения эффективности процесса хонингования при обработке низкоугле-



родистых сталей является предварительная криогенная обработка. Однако последующая закалка при температуре 970 °С приводит к тепловым деформациям крупногабаритных изделий.

Поэтому мы предлагаем производить процесс хонингования крупногабаритных изделий (гидроцилиндры) из низкоуглеродистых морозостойких и нержавеющей сталей с предварительной криогенной обработкой без последующей закалки. Данный способ заключается в том, что детали помещаются в криогенный раствор (жидкий азот), где они охлаждаются и после выдерживаются при температуре минус 196 °С. Затем обрабатываемые изделия, не дожидаясь нагрева, подвергаются процессу хонингования. В охлажденном состоянии металл имеет повышенную твердость, наблюдается частичная трансформация аустенита в мартенсит, что позволяет абразивным зернам внедряться на меньшую глубину и снизить параметр шероховатости Ra до 30 % на низкоуглеродистых сталях, что доказано пробными экспериментами.

Данный метод дает возможность повышения твердости на момент абразивной обработки в результате частичной трансформации аустенита в мартенсит, повышается ударная прочность и износостойкость сталей за счет роста числа карбидов, а также метод дает возможность избежать тепловые деформации изделий и сократить энергозатраты. Способ может значительно увеличить срок службы изделия и его конкурентоспособность в результате значительного повышения качества поверхности.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-31-34

*А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский*

### ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ РЕЗАНИИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: leeandrej@yandex.ru

Рассмотрено контактное взаимодействие при точении высоколегированных сталей различных классов. Выявлены отличия в закономерностях контактного взаимодействия для высоколегированных сталей по сравнению с перлитными. Подтверждено, что выявленные отличия связаны с различным характером зависимости теплопроводности от температуры для этих групп обрабатываемых сталей.

*Ключевые слова:* точение, высоколегированные стали, твердосплавный инструмент, передняя поверхность, площадка износа, контактное взаимодействие, характер зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шульте, Ю. А. Хладнотойкие стали / Ю. А. Шульте. – М. : Металлургия, 1970. – 224 с.
2. Солнцев, Ю. П. Конструкционные стали и сплавы для низких температур / Ю. П. Солнцев, Г. А. Степанов. – М. : Металлургия, 1985. – 271 с.
3. Кремень, З. И. Качество поверхностного слоя при обработке абразивными брусками / З. И. Кремень, В. Н. Дугин, В. В. Медведев // Вестник машиностроения. – М. : Машиностроение, 1983. – № 6. – С. 73–75.
4. Воробьев, В. Г. Термическая обработка стали при температуре ниже нуля / В. Г. Воробьев. – М. : Оборонгиз, 1954. – 307 с.
5. Маталин, А. А. Шероховатость поверхности деталей в приборостроении / А. А. Маталин. – М. : Машгиз, 1949. – 197 с.
6. Мельникова, Е. П. Влияние технологических факторов финишной абразивной обработки на качество поверхности / Е. П. Мельникова // Технология машиностроения. – М. : Машиностроение, 2003. – № 3. – С. 13–16.
7. Справочник металлста. В 5 т. Т. 2 / под ред. М. П. Новикова, П. Н. Орлова. – М. : Машиностроение, 1977. – 720 с.
8. Лахтин, Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – С. 81–88.
9. Прженосил, Б. Нитроцементация / Б. Прженосил. – М. : Машиностроение, 1969. – 212 с.
10. Гуляев, А. П. Металловедение : учеб. для вузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.
11. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисоров. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
12. Курсин, О. А. Исследование путей повышения качества поверхностей изделий из низкоуглеродистых сталей при финишной абразивной обработке : монография / О. А. Курсин, А. Л. Плотников, С. Ч. Као, С. Б. Фам, Н. И. Егоров, М. Ю. Полянчикова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – 104 с.
13. Термическая обработка при криогенных температурах [Электронный ресурс]: интернет-магазин. – Режим доступа: [http://cryotech.ru/files/Statia\\_Kriogenna\\_obrabotka2.pdf](http://cryotech.ru/files/Statia_Kriogenna_obrabotka2.pdf) (дата обращения: 19.02.21 г.)



A. A. Lipatov, Yu. L. Tchigirinskiy

## FEATURES OF CONTACT INTERACTION IN CUTTING HIGH-ALLOY STEELS WITH CARBIDE TOOLS

Volgograd State Technical University

It is considered the contact interaction when turning high-alloyed steels of different groups. It is revealed differences in the patterns of the contact interaction for high-alloy steels in comparison with the pearlitic steels. It is possibility that the identified differences are associated with different character of the dependence of thermal conductivity on temperature for these groups of machining steels.

*Keywords:* turning, high-alloy steels, carbide tool, the front surface, the wear platform, the contact interaction, the temperature dependence of the blank's thermal conductivity.

В представленной работе описаны особенности развития контактного взаимодействия на передней и задней (площадке износа) поверхностях твердосплавного инструмента при точении хромистых высоколегированных сталей. Проанализированы сходство и отличия от закономерностей протекания контактных процессов при резании аустенитной стали, а также углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса.

Исследования проводились при продольном точении сталей 12X18H10T, 14X17H2 и ЭИ961 (13X11H2B2MФ) инструментом из твердого сплава ВК6. Стали 12X18H10T и 14X17H2 обрабатывались в состоянии поставки, заготовки из ЭИ961 предварительно подвергались термической обработке до твердости 415 НВ. Скорость резания варьировалась в диапазоне  $v = 10\text{--}150$  м/мин при подаче 0,3 мм/об и глубине резания 1,5 мм. Основные геометрические характеристики резцов:  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ .

В ходе экспериментов измеряли коэффициент усадки стружки  $\xi$ . Корни стружек получали с помощью «падающего» резца. При этом на задней поверхности затачивалась (и прирабатывалась при резании) искусственная площадка износа шириной  $h_3 \approx 0,2$  мм.

На рис. 1 приведены полученные экспериментально зависимости усадки стружки  $\xi$  от скорости резания  $v$ .

Вид графиков  $\xi(v)$  свидетельствует о плавном (в той или иной степени) изменении усадки  $\xi$  по мере возрастания скорости  $v$ . Такой характер зависимостей  $\xi(v)$  резко отличается от присутствующего при обработке перлитных сталей, когда с ростом  $v$  при переходе от нароста к пластическому контакту наблюдается скачкообразное (практически при одной скорости) возрастание величины  $\xi$  [1]. Таким образом, контактное взаимодействие на передней поверхности с ростом  $v$  для сталей 14X17H2 и ЭИ961 должно развиваться сходно с резанием аустенитной стали (а не перлитных).

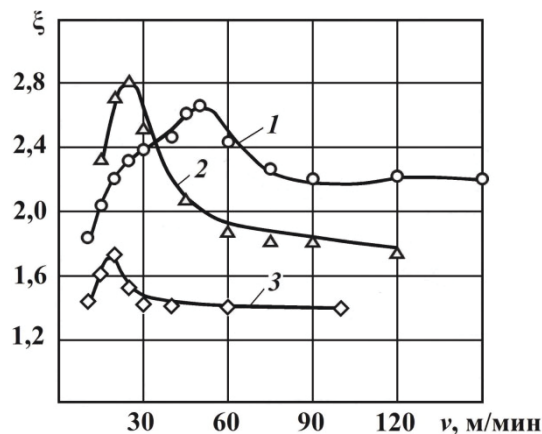


Рис. 1. Зависимости усадки стружки  $\xi$  от скорости резания  $v$  при точении сталей 12X18H10T (1), 14X17H2 (2) и ЭИ961 (3) инструментом из ВК6

Это подтвердилось при изучении микршлифов корней стружек. При резании высоколегированных сталей 14X17H2 и ЭИ961 переход от нароста к пластическому течению контактных слоев происходит не непосредственно, а через промежуточный вид взаимодействия, сходный с видом, характерным для резания стали 12X18H10T, – застойной зоной со смещенным наростом [2], что объясняется одинаковым характером зависимости теплопроводности этих групп сталей от температуры. Для высоколегированных сталей с ростом температуры теплопроводность увеличивается – в отличие от углеродистых, низко- и среднелегированных сталей перлитного класса, для которых теплопроводность с увеличением температуры резко уменьшается (в диапазоне температур 200–800 °С в 1,5–1,8 раза [3]). Поэтому при резании перлитных сталей в контактной зоне имеет место положительная обратная связь по температуре – с ростом скорости и температуры теплопроводность обрабатываемого материала резко падает. Поэтому уменьшается и сток тепла в стружку, что в свою очередь приводит к росту температуры. Поэтому переход от нароста к пластическому контакту про-

исходит скачкообразно. Увеличение теплопроводности высоколегированных сталей с ростом скорости и температуры обуславливает наличие отрицательной обратной связи по температуре, интенсифицируя сток теплоты из кон-

тактной зоны в стружку и растягивая переход от нароста к пластическому контакту в достаточно широком диапазоне скоростей [2].

Анализ соответствующих фотографий (рис. 2) показал следующее.

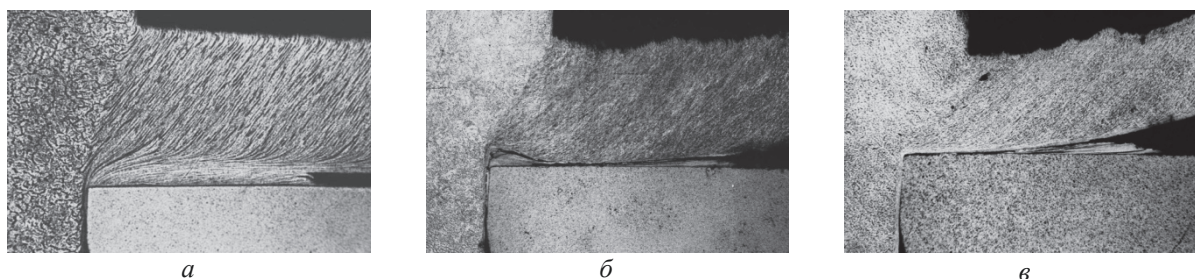


Рис. 2. Микрошлифы корней стружек ( $\times 100$ ), полученных при точении сталей 14X17H2 с  $v = 25$  м/мин (а), ЭИ961 с  $v = 20$  м/мин (б) и  $v = 30$  м/мин (в)

Для 14X17H2 (рис. 2, а) застойная зона со смещенным наростом практически неотличима от соответствующего вида взаимодействия при резании 12X18H10Т (см. [2]) – смещенный от режущей кромки нарост тормозит течение контактных слоев на расстоянии от передней поверхности, никак не меньшем высоты самого смещенного нароста. Напротив, при резании стали ЭИ961 (рис. 2, б) толщина застойной зоны, расположенной между остатком нароста на режущей кромке и смещенным наростом намного меньше высоты обоих наростов. При увеличении скорости и исчезновении нароста у режущей кромки достаточно крупный смещенный нарост сохраняется, но толщина застойной зоны еще меньше – настолько, что взаимодействие на этом участке можно принять за пластический контакт (рис. 2, в). Это объясняется повышенным тепловыделением в зоне стружкообразования из-за высокой прочности стали ЭИ961.

Второе отличие от перлитных сталей (и сходство с аустенитной сталью) заключается в следующем. Уменьшение теплопроводности перлитных сталей с возрастанием температуры обуславливает ослабление стока тепла в нагретую стружку по сравнению с холодной заготовкой. Поэтому развитие контактного взаимодействия на площадке износа отстает с ростом  $v$  от соответствующих процессов на передней поверхности [1]. Напротив, возрастание теплопроводности высоколегированных хромистых сталей 14X17H2 и ЭИ961 (как и 12X18H10Т) с ростом температуры приводит к увеличению стока тепла в нагретую стружку (по сравнению с более холодной заготовкой). Поэтому при меньших  $v$  пластический контакт устанавлива-

ется на площадке износа, а не на передней поверхности (рис. 2, в). В то же время, высокохромистым сталям присуще менее интенсивное возрастание теплопроводности с ростом температуры (в диапазоне температур 200–800 °С – менее, чем в 1,1 раза, против почти 1,5 раз у аустенитных сталей [3]). Поэтому опережающее развитие контактных процессов на площадке износа выражено не столь явно, как для аустенитной стали. Для 12X18H10Т пластический контакт на площадке устанавливается тогда, когда на передней поверхности еще существует ярко выраженный нарост (рис. 3, а). Фото при большем увеличении (рис. 3, б) подтверждает наличие на площадке износа именно пластического контакта (а не внешнего трения).

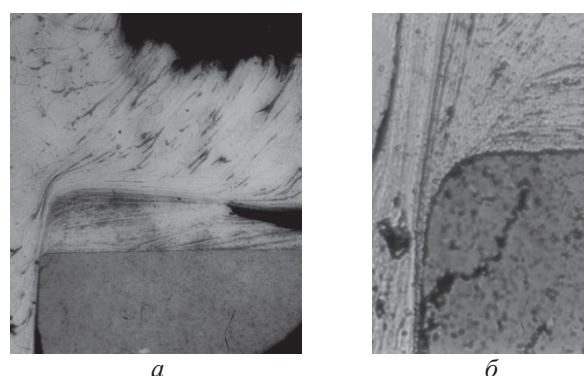


Рис. 3. Микрошлиф корня стружки, полученного при точении стали 12X18H10Т резцом из ВК6 с  $v = 20$  м/мин: общий вид (а,  $\times 100$ ) и начало контакта по площадке износа (б,  $\times 1000$ )

Для высоколегированных хромистых сталей застойные явления на площадке износа еще сохраняются при тех  $v$ , когда на передней поверхности уже имеет место застойная зона со смещенным наростом (рис. 2, а и б).

Представленные результаты подтверждают справедливость выявленного влияния зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры на закономерности развития контактных процессов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Талантов, Н. В.* Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.

2. *Липатов, А. А.* Особенности перехода от наростообразования к взаимодействию с пластическим контактом при обработке аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7 (110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 31–34.

3. *Резников, А. Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.

УДК 621.923.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-34-37

*М. Ю. Полянчикова, Д. В. Селиванова, А. В. Качалова, М. В. Никитин*

### АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ХОНИНГОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ ПО ВЫСОТЕ ДЕТАЛИ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ДВС

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: MUPolyan4ikova@yandex.ru

Как при изготовлении, так и при ремонте ответственных деталей машиностроения и двигателестроения большое внимание уделяется формированию следа на поверхности, качеству поверхностного слоя и точности геометрической формы. Однако методы достижения высокой точности при изготовлении деталей и их ремонте после эксплуатации существенно отличаются. В статье оценивается возможность реализации метода хонингования с переменной по высоте скоростью вращения инструмента (хонинговальной головки), запатентованного автором, и проводится анализ производительности этого метода при ремонте гильзы цилиндра ДВС при величине конусности 0,20 мм.

*Ключевые слова:* хонингование, управление режимом резания, детали машин, ДВС, качество поверхности, стабильность процесса.

*M. Yu. Polyanchikova, D. V. Selivanova, A. V. Kachalova, M. V. Nikitin*

### HONING PERFORMANCE ANALYSIS WITH PART HEIGHT PEN SPEED AT INTERNAL COMBUSTION ENGINES REPAIR

Volgograd State Technical University

Both in the manufacture and repair of critical parts of mechanical engineering and engine building, great attention is paid to the formation of a trace on the surface, the surface layer quality and the geometric shape accuracy. However, methods of achieving high accuracy in the parts manufacture and their repair after operation differ significantly. The article assesses the possibility of implementing the honing method with a variable height speed of tool rotation (hon) patented by the author, and analyses the productivity of this method when repairing the internal combustion engines cylinder liner at a taper value of 0.20 mm.

*Keywords:* honing, cutting mode control, engine parts, internal combustion engines, surface quality, machining performance.

При изготовлении высокоточных ответственных деталей машин на финишной операции хонингования достаточно эффективно исправляются погрешности геометрической формы поверхности (конусообразность, овальность, бочкообразность, изогнутость геометрической оси), оставшиеся в качестве технологической наследственности от предыдущих операций механической обработки.

Совершенно иная ситуация наблюдается в процессе ремонта, когда эти параметры не яв-

ляются прогнозируемыми. Как показывают статистические данные, около 80 % общего количества отказов механических систем происходит из-за процессов износа элементов машин. Искажение геометрической формы поверхностей приводит к повышенному и неравномерному изнашиванию деталей, снижает точность работы подвижных соединений, вызывает контактное трение и очаги задиров.

По данным, приведенным в работе [1], конусообразность поверхности отверстия гильзы

двигателя приводит к ее значительному износу, причем эта зависимость с величины конусообразности 0,015 мм очень близка к линейной.

Точность обработки при хонинговании является одним из основных показателей процесса. Погрешность формы обрабатываемого отверстия при хонинговании зависит как от интенсивности съема металла, так и от износа абразивного инструмента [2]. При недостаточной интенсивности съема металла не происходит исправление погрешности формы детали, а при большом износе инструмента возникает копирование погрешностей абразивного бруска на обрабатываемую поверхность.

В настоящее время заданную точность в машиностроении, по мнению А. Г. Сулова и А. М. Дальского [3], в основном обеспечивает метод резания. Однако он находится в явном противоречии с возрастающим ужесточением всех параметров точности деталей машин и изделий в целом.

При ремонте детали, когда происходит восстановление рабочей поверхности после эксплуатации до определенного ремонтного размера (в частности, при восстановлении гильз цилиндров двигателей) величина созданной при эксплуатации погрешности формы (в частности, конусообразности для отверстия гильз цилиндров двигателей) для каждой детали различна. Новые технологии наращивания поверхностей

для достижения высокой точности требуют сложное и специальное оборудование, поэтому в ближайшем будущем в ремонтном производстве будут использоваться методы обработки лезвийным и абразивным инструментом.

Для повышения эффективности восстановления гильз цилиндров с целью достижения требуемой высокой точности отверстия автором настоящих исследований использован разработанный им в соавторстве способ хонингования [4], который заключается в том, что при снятии металла на участках отверстия гильзы (по ее длине) с минимальным диаметром отверстия, скорость вращения хонинговальной головки увеличивается (при ее движении вниз, т. к. при установке гильзы в приспособление участок с минимальным диаметром расположен внизу), а при движении хонинговальной головки вверх скорость ее вращения уменьшается. Это приводит к тому, что в зоне минимального диаметра отверстия происходит максимальный съем металла. Уменьшение скорости вращения при движении хонинговальной головки вверх приводит к уменьшению съема металла в зоне увеличенного диаметра отверстия. Перспективы применения такого метода восстановления гильз цилиндров двигателей рассматривается в работе авторов [5].

Схема расположения детали при обработке приведена на рис. 1.

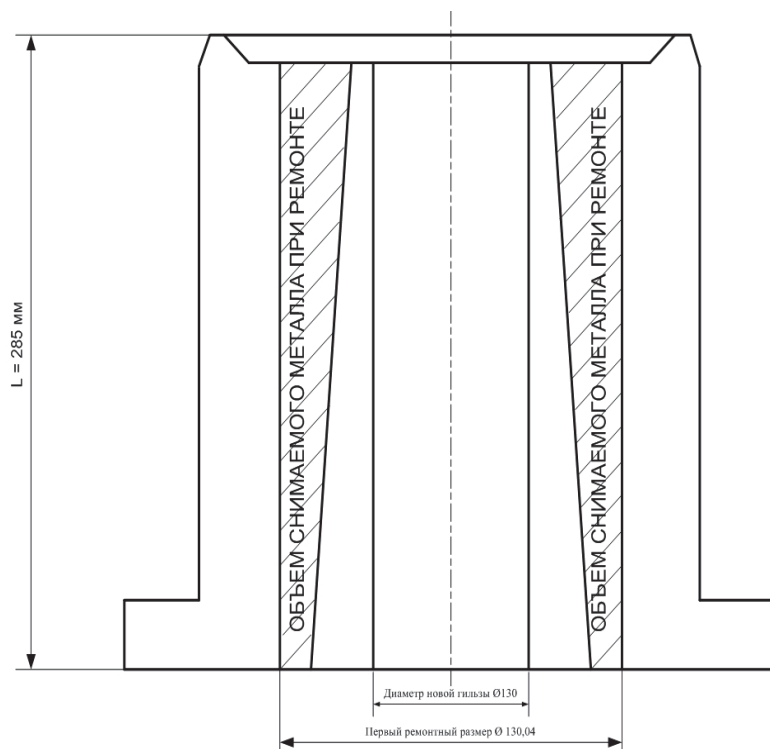


Рис. 1. Разрез гильзы двигателя А-41 и А – 41СИ – 01



При хонинговании с неизменными скоростями вращения и возвратно-поступательного движения хонинговальной головки с постоянным давлением разжима абразивных или алмазных брусков исправление конусообразности приводит к тому, что и наибольший диаметр отверстия гильзы цилиндра приближается к большему допустимому ремонтному размеру, а в ряде случаев его и превосходит.

Для управления скоростью вращения применяется программируемый контроллер ПЛК. Программа управления скоростью вращения хонинговальной головки требует следующие исходные параметры ремонтируемой детали: длина, диаметры (действительный и ремонтный), определяющие ее конусообразность. При

проектировании процесса обработки необходимо также учитывать требуемую высоту микронеровностей, точность обработки и марку необходимого брусков инструмента.

Принимая во внимание тот объем металла, который необходимо снять при восстановлении гильзы на каждый ремонтный размер, и результаты экспериментов, был сделан вывод о том, что при обработке с переменной по высоте гильзы скоростью вращения брусками зернистостью F150, P180 этот объем металла снимается за 120 с. В связи с этим была использована программа по регулированию скорости вращения хонинговальной головки, циклограмма изменения которой представлена на рис. 2.



Рис. 2. Циклограмма изменения скорости вращения ( $V_{вр}$ ) хонинговальной головки за 12 рабочих ходов (120 с. работы)

При хонинговании с изменением скорости вращательного движения хонинговальной головки по высоте гильзы оценивались результаты интенсивности съема за цикл хонингования

300с. По полученным данным были построены зависимости суммарной удельной производительности ( $\Sigma Q_M$ ) от зернистости абразивного инструмента, представленные на рис. 3.

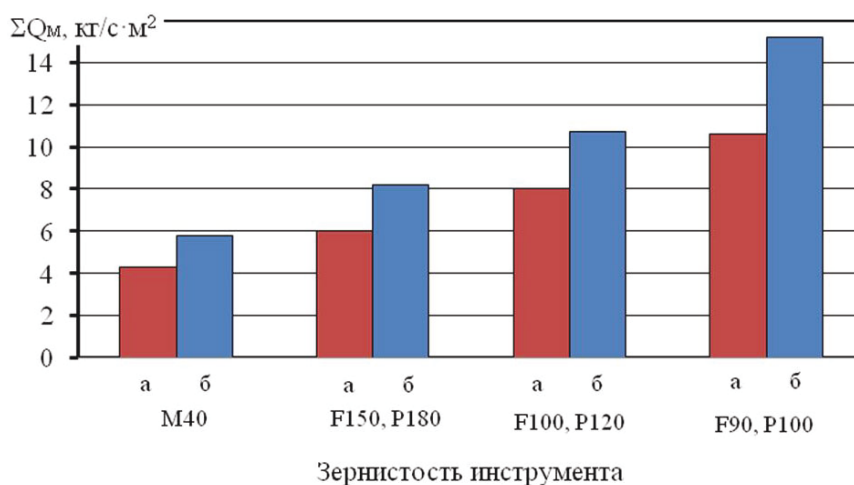


Рис. 3. Зависимость суммарной удельной производительности ( $\Sigma Q_M$ ) от зернистости абразивного инструмента при цикле окончательного хонингования 120 с при обработке с постоянной (а) и переменной (б) скоростью вращения хонинговальной головки



Анализ зависимостей свидетельствует о том, что обработка по принципу «неповторяющегося следа», осуществляемая при хонинговании с переменной по высоте гильзы скоростью вращения хонинговальной головки, позволяет увеличить съём металла на участке с меньшим диаметром (вершина конусообразности) в среднем в 1,5 раза по сравнению с участком гильзы, требующим меньшей интенсивности съёма. График изменения скорости вращения инструмента, рассматриваемый на рис. 2, приводит к тому, что риски-царапины, являющиеся следами прохождения режущих зерен, никогда не повторяют следы зерен от предыдущего рабочего хода, т.е. обработка ведется по принципу неповторяющегося следа. В связи с этим режущие грани абразивного зерна всегда проходят по новой траектории и нагрузка, приходящаяся при съеме металла на одну режущую грань, меняет свою величину и направление и дает возможность другим граням и их участкам осуществлять резание. В результате (рис. 3), при обработке с переменной по высоте гильзы скоростью вращения хонинговальной головки удельная производительность значительно выше, по сравнению с обработкой с постоянной скоростью вращения.

При исследовании процесса хонингования немаловажное значение имеет не только значение интенсивности съема или удельной производительности, но и износостойкость режущего

инструмента. В связи с тем, что при обработке брусками вся режущая их поверхность постоянно участвует в резании, условия отвода стружки значительно ухудшаются. Непрерывная работа режущих зерен при обработке брусками в тяжелых условиях приводит к преждевременному износу инструмента. Поэтому необходимо непрерывно обновлять режущую поверхность брусков путем удаления затупившихся зерен. Дальнейшим направлением исследования является использование абразивно-алмазного инструмента без связки при хонинговании ответственных деталей машиностроения и двигателей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология двигателестроения : учеб. / А. Л. Карунин [и др.] ; под ред. А. И. Дашенко. – М. : Высшая школа, 2006. – 608 с.
2. Исследование стабильности процессов финишной абразивной обработки / В. М. Оробинский [и др.] // Инструмент и технологии. – 2001. – № 5–6. – С. 179–181.
3. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
4. Пат. 2305620 Российская Федерация, МПК В 24 В 1/00 (2006. 01), В 24 В 33/02 (2006.01). Способ обработки отверстий / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин, А. А. Кожевникова. – Оpubл. 10.09.2007, Бюлл. № 25.
5. Полянчиков, Ю. Н. Перспективный метод восстановления гильз тракторных ДВС / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 4. – С. 25–26.

УДК 621.922.025

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-37-40

*А. С. Сазонова, Е. А. Терешина, Ю. С. Багайсков*

#### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОЙ РАВНОМЕРНОЙ ТВЕРДОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ**

**Волжский политехнический институт (филиал)**

**Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: bagaiskov@post.volpi.ru

Повышение твердости материала абразивных инструментов может быть достигнуто за счет: использования в абразивных массах дополнительно к основным фракциям зерен мелкозернистых наполнителей. Проведение дополнительного помола данной связки на шаровой мельнице снижает ее зернистость до 32–36 мкм и, главное, обеспечивает более высокую равномерность. Полезно дополнительное введение в абразивную массу борного стекла в количестве до 15 % от массы связки. Оптимальный вариант – одновременное использование приведенных путей повышения твердости.

*Ключевые слова:* абразивный материал, шлифовальный круг, твердость, структура, керамическая связка, наполнитель, равномерность.

A. S. Sazonova, E. A. Tereshina, Yu. S. Bagaikov

## ENSURING HIGH UNIFORM HARDNESS OF CERAMIC-BOND GRINDING WHEELS

Volzhsky Polytechnic Institute (branch)  
of the Volgograd State Technical University

The hardness of the abrasive tool material can be increased as follows: use of fine-grained fillers in abrasive masses in addition to the main fractions. Additional grinding of this bond slightly decreases its grain size, approximately down to 32 – 36  $\mu\text{m}$ , and, above all, ensures higher uniformity. The additional introduction of the borosilicate glass based on fused alumina to the extent up to 15 % of the bond weight is of use. An optimum solution is the simultaneous application of the described ways to increase the hardness.

*Keywords:* abrasive material, grinding wheel, hardness, structure, ceramic bond, filler, uniformity.

Для профильного, силового, обдирочного шлифования применяются круги с высокой твердостью материала. Это позволяет иметь и наибольшую стойкость кругов [1], [2].

Абразивные круги на керамической связке по природе своего композиционного материала, наличия необходимой для шлифования пористой структуры, априори имеют ограниченную прочность и твердость [3], [4]. Степень твердости их композиционного материала оценивается

как способность удержания абразивного зерна связкой, определяется объемным содержанием пор. Твердость и номер структуры определяют распределение и взаимоположение частиц абразива в среде связующего и пор [5].

На рис. 1 приведена зависимость изменения степени твердости от пористости (на примере смесей из электрокорунда на плавящейся связке и из карбида кремния на спекающей связке).

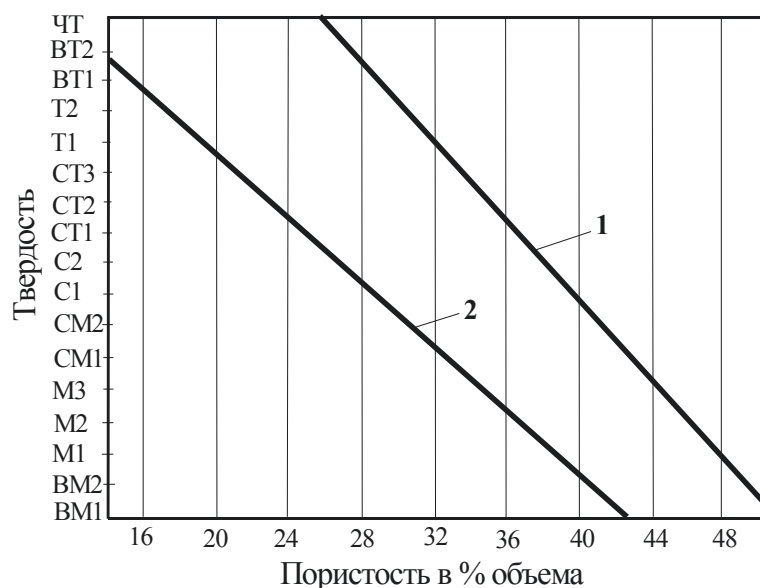


Рис. 1. Зависимость изменения степени твердости от пористости материала абразивных инструментов из электрокорунда (1) и карбида кремния (2)

Повышение твердости материала абразивных инструментов может быть достигнуто за счет использования в абразивных массах **дополнительно к основным** фракциям зерен мелкозернистых наполнителей;

Для композиционного материала абразивных инструментов на керамической связке характерно содержание абразива 40–60 %. Для общего диапазона концентрации 35–75 % расстояние между частицами составляет примерно от  $1,24 D$  до  $0,075 D$  (рис. 2).

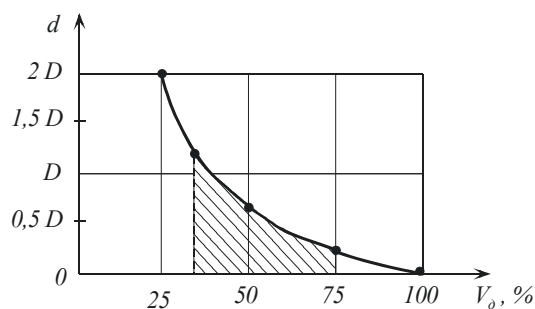


Рис. 2. Зависимость расстояния между частицами абразива  $d$ , выраженного в диаметрах частиц  $D$ , от концентрации абразива  $V_0$

Для количественной оценки введения мелкозернистых фракций абразивных материалов в массу дополнительно к основным можно взять геометрическую модель упаковки абразивных зерен в виде комплекта шаров. Формируется блок четырех зерен, каждый из которых контактирует с 3-мя остальными, в объеме же каждое зерно модели контактирует с 14 другими, находящиеся на поверхности – с10.

Теоретические расчеты показывают, что доля свободного объема при плотной упаковке моделей (шаров) составляет 21,3 % [5], [6]. Фактически при учете коэффициента развитости поверхности абразивного зерна, удельных и насыпных весов всех компонентов абразивной массы, доля объема, приходящаяся на поры (и связку) при свободной насыпке массы составляет 55 %. Фактический объем пор больше теоретического в 0,55/0,213 раз, т.е. в 2,582 раза. В пересчете на линейный размер – диаметр зерна наполнителя по сравнению с диаметром зерна основного абразива ( $d_1$ ):  $d_{н\text{ факт}} = 1,73 \cdot d_n = 1,73 \cdot 0,213d_1 = 0,385d_1$ , где коэффициент 1,73 получен из сравнения условных диаметров пор, фактического и теоретического.

Так, например, введение в абразивную смесь к электрокорунду зернистости F80 (160 мкм) наполнителя электрокорунда зернистости F180 – F220 (40–50 мкм) в количестве 10–15 % от массы абразива позволяет дополнительно увеличить плотность и прочность на 20–25 %.

Наибольшее значение имеет введение наполнителя для инструментов самой высокой твердости (степени ВТ-ЧТ), без наполнителя вообще затруднительно решить технологическую задачу в связи с работой на предельных давлениях формования.

Исследования также показали, что применение связки промышленного производства тонкого помола (например, марки К5С – 40 мкм) не является предельным. Проведение дополнительного помола данной связки на шаровой мельнице в течение 10–12 часов несколько снижает ее зернистость, примерно до меньше 32–36 мкм. Увеличение дисперсности связки влияет на повышение ее реакционной способности, усиление диффузионных процессов в контакте абразивное зерно – связка, что приводит к повышению твердости материала инструмента (на 7–10 %), более равномерному распределению твердости, как по диаметру, так и по окружности круга.

Повысить прочность связей на границе фаз – абразивных частиц и связующих – можно кор-

ректировкой состава связующего с повышением адгезионных свойств.

Исследования показали эффективность дополнительного введения в массу на основе электрокорунда борного стекла  $B_2O_3$ . Так называемое борное стекло представляет собой борно-силикатную фритту примерно следующего состава: Si O<sub>2</sub> – 69 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3 %, Mg O – 5 %, Ca O – 3,5 %, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O – 3,5 %, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 17 %. Расчеты показали, что реально добавление к связке примерно 15 % борного стекла дает возрастание  $B_2O_3$  на 2–3 %. Даже такое изменение положительно влияет на прочностные свойства абразивного композита. Это приводит и к некоторому уменьшению температуры плавления связки – с 1230 °С до 1170–1190 °С. Повышается степень растекания связки по поверхности зерна абразива, уровень реакционной способности связки, усиливается активность адгезионного и диффузионного процессов, что подтверждается возрастанием содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в приграничной зоне связки. В конечном итоге увеличивается прочность удержания зерна связкой, а также в целом прочность и твердость инструмента на 15–20 %.

Оптимальный вариант – одновременное использование приведенных путей повышения твердости абразивных инструментов на керамической связке. Изменение твердости материала на примере абразивных инструментов из электрокорунда белого зернистости F60 (250 мкм) с плавящейся связкой марок К5 и К5С без наполнителя, с наполнителем 25А F220 (50мкм) с дополнительным помолом связки и при дополнительном введении борного стекла приведены на рис. 3.

Имеется пример успешной разработки высокотвердых шлифкругов диаметром 400–500 мм высотой 13–26 мм для скорости резания 60 м/с.

Таким образом, проблема повышения физико-механических свойств и степени твердости композиционного материала абразивных инструментов на керамической связке решается при использовании связки с более тонким фракционным составом, имеющей более высокие адгезионные свойства по отношению к абразиву и собственные прочностные показатели, введением наполнителя – абразива того же вида, но меньшей в 3–4 раза зернистости в количестве 10–15 % от массы абразива основной фракции, также дополнительно борного стекла до 15 % от массы связки и помола связки до крупности 32–36 мкм.

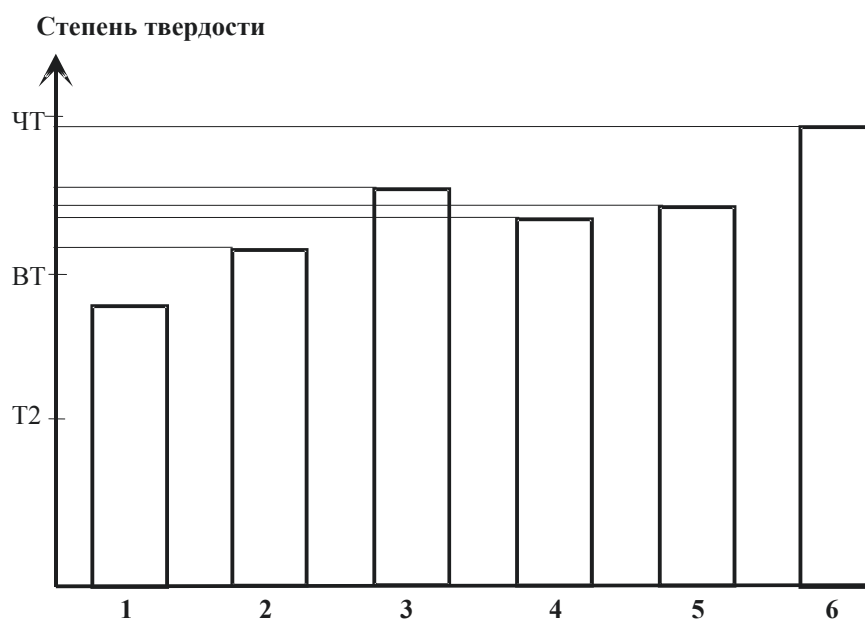


Рис. 3. Степень твердости материала абразивных инструментов из электрокорунда F60 с плавящейся связкой K5 (1), K5C (2), с наполнителем 25AF220 (3), с дополнительным помолом связки (4), с дополнительным введением борного стекла (5), K5C с наполнителем, дополнительным борным стеклом и помолом (6)

Повышается вероятность лучшего удержания зерен связкой под действием нагрузок при эксплуатации, большее число раз контактируют они с материалом детали, что приводит как к увеличению размерной стойкости инструмента и наработки (по числу обработанных деталей), так и к повышению съема металла и коэффициента шлифования. За счет регулирования содержания связки можно добиться улучшения всех показателей, не изменяя степени твердости инструмента, принятой для данной операции шлифования, и при необходимости существенно повысить твердость кругов для обработки профильных деталей, для силового и обдирочного шлифования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Островский, В. И.* Теоретические основы процесса шлифования / В. И. Островский. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1981. – 234 с.
2. *Ковальчук, Ю. М.* Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Ю. М. Ковальчук. – М. : Машиностроение, 1984. – 206 с.
3. *Гаршин, А. П.* Абразивные материалы и инструменты. Технология производства : учеб. пособие / А. П. Гаршин, С. М. Федотова / под общ. ред. проф. А. П. Гаршина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.
4. *Репринцев, Н. И.* Физико-механические свойства абразивного инструмента в связи с его прочностными показателями / Н. И. Репринцев, В. М. Шумячер // Сборник статей конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы». – Волжский. – 1999. – С. 75–76.
5. *Багайсков, Ю. С.* Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов : монография / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер ; Федеральное агентство по образованию, ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ. – Волгоград : ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ, 2005. – 200 с.
6. *Багайсков, Ю. С.* Анализ особенностей формирования пористой структуры абразивных инструментов / Ю. С. Багайсков, Сборник статей конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы». – Волжский, 1999. – С. 67–69.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-41-43

*Е. М. Фролов, А. В. Рогачев***ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРИЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
С ЧПУ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ  
ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: eltar1983@yandex.ru

Статья посвящена проблеме построения киберфизических систем управления процессами механической обработки металлов на базе серийно производимых систем числового программного управления (ЧПУ) станками. В ней проведен обзор возможностей интеграции стороннего программного обеспечения в распространенные УЧПУ. В ходе проведенного анализа выявлен наиболее универсальный способ интеграции и предложена принципиальная схема киберфизической системы механической обработки.

*Ключевые слова:* киберфизические системы, УЧПУ, термоЭДС, оптимизация механической обработки.

*Е. М. Frolov, A. V. Rogachev***POSSIBILITIES OF USING SERIAL CNC EQUIPMENT AS A  
BASIS FOR BUILDING DIGITAL PRODUCTION SITES****Volgograd State Technical University**

The article addresses the problem of building cyber-physical control systems of metal machining based on commercial computer numerical machine control systems (CNC). The article provides an overview of possibilities of integrating third-party software into common CNC units. The analysis has revealed a universal way of integration and resulted in a diagram of the cyber-physical machining system.

*Keywords:* cyber-physical systems, CNC, thermoEMF, optimization of machining.

С тех пор, как Германия в рамках развития промышленности своей страны сформулировала в 2011 году концепцию «Индустрия 4.0», все больше стран принимают аналогичные документы, включая в этот, ставший всемирным, процесс. В России с 2014 года прорабатывается Национальная Технологическая Инициатива (НТИ), среди рынков которой напрямую машиностроения касаются Технет и Энерджинет. Как известно, «Индустрия 4.0» процесс комплексный, движущийся по многим направлениям. Одним из основных принято считать развитие Цифровых фабрик, в которых производственные процессы управляются электроникой в автоматическом режиме, как кросс-рыночное и кросс-отраслевое направление, обеспечивающее технологическую поддержку развития рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности. В машиностроении внедрение подобного подхода к производству встречает серьезные трудности в связи со сложностью физической природы производственных процессов, в частности процесса механической обработки сталей и сплавов. Не малую проблему представляет также тот факт, что подавляющее большинство предприятий имеют устоявшийся парк оборудования, изначально не предназначенного для

автоматизации уровня «безлюдного производства», а высокая его стоимость не позволяет провести модернизацию путем замены. Обозначенные выше проблемы требуют скорейшего решения для недопущения провала рынка Технет НТИ и технологического отставания России от остальных стран.

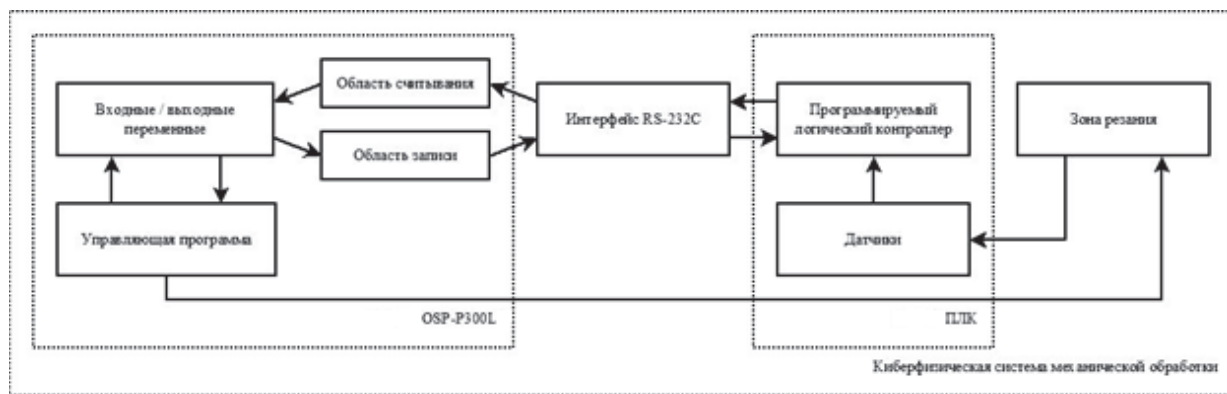
Сложность физических процессов в первую очередь встает на пути организации Цифровых фабрик машиностроения. Процесс механической обработки сталей и сплавов, кроме того, что имеет сложную трудно анализируемую природу, сосредоточен в так называемой «зоне резания», из которой сложно получить информацию, а затем адекватно ее оценить. В настоящее время существует множество методик анализа процесса резания, основанных на сигналах различной физической природы [5, 6]. Здесь следует уточнить, что методики, доведенные до промышленной реализации, позволяют фиксировать момент выхода в аварийные режимы, что имеет важное для надежности автоматизированного производства значение. Но если мы говорим о цифровых фабриках, то на первое место выходит необходимость предсказывать поведение процесса резания для планирования производства и его работы в автоматическом режиме.



Рассмотрим возможности серийных УЧПУ для интеграции систем управления режимами обработки на основе информации из зоны резания. Все современные системы управления станком типа PCNC построены на ядре, имеющим закрытую архитектуру. Однако многие производители оставляют за потребителем возможность самостоятельно расширять возможности их продукта в той или иной степени. Проанализируем предлагаемые наиболее распространенными CNC системами решения в порядке возрастания возможностей интеграции пользовательских алгоритмов. УЧПУ CNC8070 (Fagor Automatico, Испания) позволяет получать всю основную информацию о работе системы из ядра ЧПУ сторонними приложениями. Программирование интегрируемых компонентов осуществляется с помощью специализированных Visual Basic скриптов. УЧПУ серии Indra Motion MTX (Bosch Rexroth, Германия) для расширения возможностей управления обеспечивают встраивание внешних приложений посредством стандартизированных интерфейсов (OPC, XML, ActiveX, .NET). Также при помощи инструментария Open Core Engineering имеется возможность получить доступ к ядру системы. УЧПУ TX 1270 (Beckhoff, Германия) посредством программной шины ADS (Automation Device Specification) позволяет получить доступ из написанных на языках платформы .NET прикладных программ пользователя к переменным и адресному пространству программируемого логического контроллера реального времени. УЧПУ iTNC 530 (HEIDENHAIN, Германия) может поставляться с программной коммуникационной платформой Heidenhain DNC, позволяющей реализовывать взаимодействие с внешними приложениями, способными анализировать информацию из ЧПУ и влиять на производственный процесс. УЧПУ Sinumerik 840D sI (Siemens, Германия) для дополнения функционала или

изменения сценариев работы ядра предлагает использование механизма Compile Cycles (компилируемые циклы). Он позволяет определять точки останова (breakout-points) в процессы работы ядра, называемые событиями (events). По возникновению событий инициируются фрагменты кода, реализованные пользователем на языке C++, обеспечивающие доступ к системным данным и функциям. УЧПУ OSP-P300L (Okuma, Япония) позволяет осуществить информационный обмен со сторонним программным обеспечением и измерительными датчиками через переменные, доступ к которым может быть получен через интерфейс RS-232C. Возможность обращения к этим переменным из программ обработки позволяет вести управление процессом резания в режиме реального времени. Данный способ интеграции ядра УЧПУ со сторонними приложениями и измерительными устройствами представляется наиболее удобным, так как не требует приобретения дополнительного программного обеспечения и предлагает стандартизированный открытый интерфейс информационного обмена.

Принципиальная схема киберфизической системы механической обработки на базе серийного УЧПУ OSP-P300L представлена на рисунке. Согласно изображенной схеме, за получение и обработку информации о процессе резания отвечают два блока: датчики для фиксации параметров протекания процесса и программируемый логический контроллер (ПЛК). Выполнение расчетов на базе ПЛК позволяет обеспечить гибкость разрабатываемой системы, то есть дает возможность интегрировать ее с другими УЧПУ без внесения принципиальных изменений в архитектуру. В качестве аппаратной платформы может быть использовано любое устройство, отвечающее требованиям, предъявляемым к устройствам, работающим в производственных условиях.



Принципиальная схема киберфизической системы на базе УЧПУ OSP-P300L

В качестве алгоритмической базы киберфизической системы предлагается метод оптимизации режимов резания механической обработки, называемый методом пробного прохода [1, 3, 4]. Он основывается на измерении величины термоЭДС пары инструмент (твердосплавный) – обрабатываемая деталь и использовании ее в качестве интегрального показателя условий протекания процесса резания. Расчетный блок системы использует метод параметрической оптимизации режимов резания методом линейного программирования. В качестве расчетного алгоритма применяется симплекс-метод [7]. Целевые функции могут быть различными и выбираются исходя из целей управления процессом обработки [2]. Например, производительность может быть использована в качестве оценочной функции на стадии черновой обработки. На стадии получистовой/чистой токарной обработки в качестве целевой функции следует принимать минимальную погрешность формы и расположения поверхностей. В случае отделочной обработки за оценочную функцию целесообразно принять величину получаемой шероховатости.

В представленной статье приведен пример построения киберфизической системы механической обработки. Предложена принципиальная схема описанной системы на базе серийно выпускаемого УЧПУ OSP-P300L производства фирмы Okuma. Осуществлен выбор основного сигнала обратной связи из зоны резания, предложены алгоритмы оптимизации режимов обработки на его основе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2063307 Российская Федерация, МКИ 6 В 23 В 25/06. Способ определения допустимой скорости резания

при механической обработке детали твердосплавным инструментом / А. Л. Плотников ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 94010673/08 ; заявл. 29.03.1994 ; опубл. 10.07.1996, Бюл. № 19.

2. Свид. о гос. регистрации № 2009615674 от 12.10.2009 РФ. Оптимизация режимов резания трех стадий токарной обработки : программа для ЭВМ / Е. М. Фролов, А. Л. Плотников ; ВолгГТУ. – 2009.

3. Фролов, Е. М. Адаптация метода управления режимами резания к промышленным условиям / Е. М. Фролов, Э. А. Корзун, Ж. С. Тихонова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (212) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 53–55.

4. Сергеев, А. С. Method for measuring thermo-EMF of a «tool-workpiece» natural thermocouple in chip forming machining [Электронный ресурс] / А. С. Сергеев, Ж. С. Тихонова, Т. В. Уварова // MATEC Web of Conferences. Vol. 129 : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11-15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.] ; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. – [Publisher: EDP Sciences], 2017. – 5 p. – URL : [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf\\_icmtmte2017\\_01044.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_01044.pdf).

5. The reliability improvement of CNC machining centers due to on-line diagnostics of the cutting process [Электронный ресурс] / Д.В. Крайнев, А.С. Сергеев, Ж.С. Тихонова, Куанг Чонг Нго // 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) (St. Petersburg, Russia, 24-26 May 2017) : Conference Proceeding / ed. by S. Shaposhnikov. – [Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (IEEE)], 2017. – P. 627-629. – DOI: 10.1109/SCM.2017.7970670.

6. Оперативная диагностика как средство повышения надежности функционирования систем ЧПУ / Д. В. Крайнев, Ж. С. Тихонова, А. А. Кожевникова, Д. С. Дубовова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 12 (207) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 18–20.

7. Formulating CAD/CAM modules for calculating the cutting conditions in machining / А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, Е. М. Фролов, Е. Г. Крылов // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29, № 5. – С. 512–517.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-43-46

*Е. М. Фролов, А. В. Рогачев*

### МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С СЕРИЙНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ, ОСНАЩЕННЫМ ЧПУ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: eltar1983@yandex.ru

В статье предлагается методическая и алгоритмическая база модуля управления режимами токарной обработки для оснащения серийного оборудования с ЧПУ. Описывается созданный макет предлагаемой киберфизической системы на базе токарного обрабатывающего центра Okuma Genos L300M.

*Ключевые слова:* метод пробного прохода, термоЭДС, киберфизическая система, САПР технологических процессов.

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

## CUTTING MODE CONTROL MODULE FOR USE WITH STANDARD CNC EQUIPMENT

Volgograd State Technical University

The article offers a methodological and algorithmic base of the control module for turning modes for the serial equipment with CNC. The created model of the proposed cyberphysical system based on the Okuma Genos L300M turning processing center is described.

*Keywords:* trial pass method, thermo EMF, cyberphysical system, CAD of technological processes.

В современном автоматизированном машиностроительном производстве значительная доля процессов механической обработки осуществляется на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Одним из способов эффективного использования этого вида оборудования является использование систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), которые ориентированы на решение широкого круга задач. С их помощью проектируют технологические процессы, готовят управляющие программы для оборудования с ЧПУ, а также решают другие технологические задачи процесса механической обработки. Все современные САПР ТП включают в себя модуль расчета/оптимизации режимов обработки, который наряду с модулем подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ является их неотъемлемой частью [1]. Получаемые при помощи упомянутого выше модуля допустимая скорость и сила резания в значительной степени влияют на надежность процесса обработки. При механической обработке сталей твердосплавным инструментом

надежность процесса напрямую связана с обеспечением заданного периода стойкости инструмента. Повысить точность обеспечения заданной стойкости инструмента посредством выбора оптимальных режимов резания возможно переносом упомянутого выше модуля САПР ТП непосредственно в устройство ЧПУ станка и создания таким образом киберфизической системы [1, 2]. Методической основой подобной системы может стать способ измерения ЭДС резания во время пробного прохода [3], позволяющий при применении алгоритмов оптимизации получать удовлетворяющие принятым ограничениям режимы резания для всех стадий металлообработки [4, 5, 6].

Для исследования работы описанной выше киберфизической системы создано устройство, которое состоит из следующих компонентов (рис. 1): микроконтроллера (далее МК) Arduino Nano, платы расширения, модуля аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), платы преобразователя сигналов UART ↔ RS232, источника питания; интерфейсного кабеля DB9 ↔ DB-25..

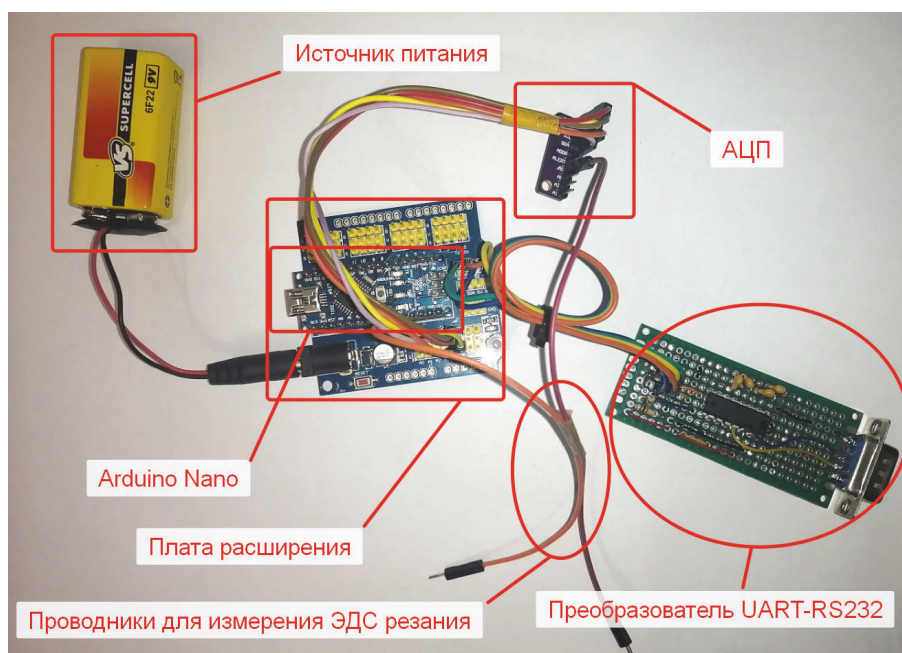


Рис. 1. Компоненты, входящие в устройство

МК подключается к плате расширения, куда присоединяется модуль АЦП, формирующий цепь для измерения ЭДС резания, а также модуль преобразователя сигналов UART $\leftrightarrow$ RS232 на базе микросхемы MAX3232 для конвертирования уровня сигналов UART (0...+5В), толерантных МК, в сигналы RS232 (-18...+18В), обрабатываемые УЧПУ станка. Для соединения

УЧПУ станка и устройства используется интерфейсный кабель DB9(F)  $\leftrightarrow$  DB-25(M). В качестве источника питания может выступать подключение через Mini-B USB разъем, непосредственно через нерегулируемые источники в 6–20 вольт, через регулируемые источники в 5 вольт.

На рис. 2 представлена укрупненная блок-схема алгоритма работы МК.

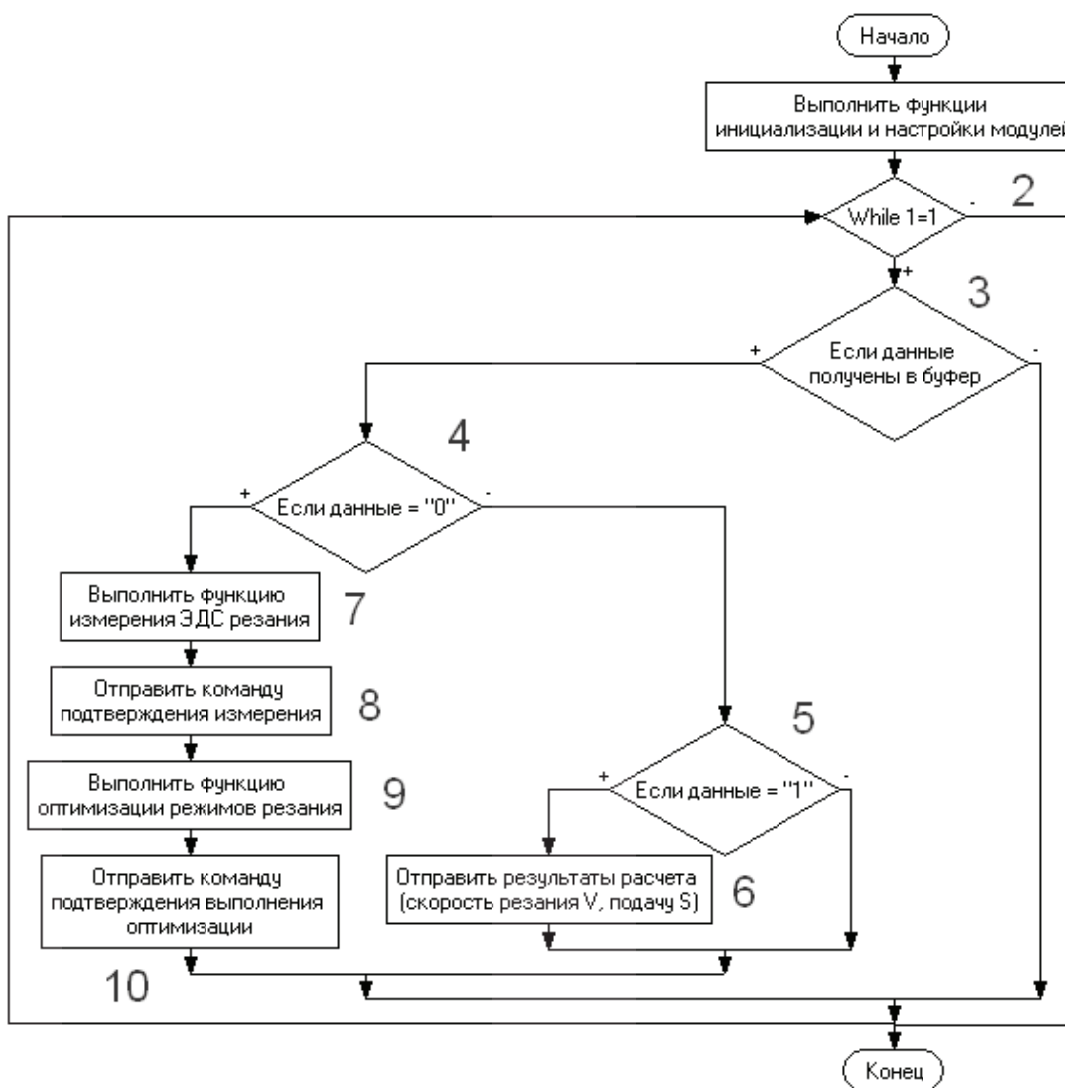


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы МК

В блоке 1 выполняется первичная инициализация МК и модулей, подключенных к нему. Далее идет объявление множества переменных, массивов, необходимых для расчета оптимизации режимов резания. Затем выполняется инициализация интерфейса UART, необходимого для отправки и принятия данных, а также библиотеки для работы с АЦП. Бесконечный цикл «while 1=1» (блок 2 на рис. 2) применен для ускорения работы МК (из-за особенностей библиотек цикл while работает быстрее стандарт-

ной функции loop до 10 раз). Далее на схеме следует блок условия принятия данных, отправляемых УЧПУ станка, при выполнении которого идет распознавание команды блоками 4 и 5. Перед отправкой команды на запуск пробного прохода УЧПУ выполняет подготовительные действия, такие как установка выбранного инструмента, подвод инструмента в точку начала цикла пробного прохода, назначение скорости резания и подачи пробного прохода, запуск шпинделя станка, после чего отправляет



в МК команду “1” и начинает цикл пробного прохода, в течение которого МК выполняет блок измерения термоЭДС резания пробного прохода (блок 7 на рис. 2). По завершении измерения термоЭДС резания МК отправляет команду подтверждения измерения (блок 8), что служит сигналом для продолжения работы. Далее на основе полученного значения термоЭДС выполняется оптимизация режимов резания [4], результатом которой являются численные значения скорости резания (м/мин) и подачи (мм/об), после чего устройство отправляет команду подтверждения выполнения оптимизации (блок 10 на рис. 2). Следующим шагом УЧПУ выполняет отвод инструмента в точку начала цикла обработки заготовки и отправляет в МК команду “1”, тем самым запуская функцию отправки вычисленных результатов. После получения данных УЧПУ начинает обработку заготовки на рассчитанных устройством режимах резания. Обмен данными между УЧПУ станка и предлагаемой киберфизической системой осуществляется через интерфейс RS232 и со стороны УЧПУ управляется стандартными командами, что исключает вмешательство в конструкцию и программное обеспечение стандартного металлообрабатывающего оборудования (в данном случае токарного обрабатывающего центра Okuma Genos L300M).

Описанное устройство для реализации киберфизической системы для токарной обработки на станке с ЧПУ за счет отсутствия необходимости принципиального вмешательства в конструкцию серийного оборудования позволяет исключить повышенные затраты на модернизацию станочного парка.

УДК 678:004.94

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-46-50

*С. И. Ярьско<sup>1,2</sup>, С. Н. Балакиров<sup>2</sup>*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет

<sup>2</sup> Самарский филиал ФИАН

E-mail: yarsi54@gmail.com

Предложен и реализован алгоритм построения геометрической 3D-модели детали из полимерного композиционного материала ВКУ-39 на основе углеродного волокна, предназначенной для дальнейшего конечно-элементного расчета температурного поля в детали при лазерной размерной обработке и выбора оптимальных режимов резки.

*Ключевые слова:* композитные материалы, лазерная размерная обработка, 3D-моделирование.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Formulating CAD/CAM modules for calculating the cutting conditions in machining / А.Л. Плотников [и др.] // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29, № 5. – С. 512-517.
2. Фролов, Е. М. Cyber-Physical Machining Systems Based on Commercial CNC Equipment [Электронный ресурс] / Е. М. Фролов, Д. В. Крайнев, Ж. С. Тихонова // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Sochi, Russia, 9-16 September, 2018) / Institute of Electrical and Electronics Engineers, South Ural State University (national research university), IEEE Russia Siberia Section, IEEE Russia Section, South Ural IEEE Chapter. – [Publisher: IEEE Xplore], 2018. – 4 p. – DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501684.
3. Тихонова, Ж. С. Thermo-EMF as Method for Testing Properties of Replaceable Contact Pairs / Ж. С. Тихонова, Д. В. Крайнев, Е. М. Фролов // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) (Sochi, Russian Federation, March 25-29, 2019). Vol. II, part 2 / ed. by A. A. Radionov [et al.]; South Ural State University (National Research University), Moscow Polytechnic University, Platov South-Russian State Polytechnic University, Volgograd State Technical University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, [2020]. – P. 1097-1105. – URL : <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-22063-1>. – (Book ser.: Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME).
4. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009615674 от 12 октября 2009 г. РФ Оптимизация режимов резания трех стадий токарной обработки / Е. М. Фролов, А. Л. Плотников; ВолгГТУ. – 2009.
5. Фролов, Е. М. Зависимость для автоматизированного определения скорости резания в условиях черного точения / Е. М. Фролов, А. Л. Плотников // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 53–55.
6. Фролов, Е. М. Разработка математической модели для автоматизированного расчета скорости резания для условий тонкого точения / Е. М. Фролов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 108–110.



*S. I. Yaresko<sup>1,2</sup>, S. N. Balakirov<sup>2</sup>*

## MODELING OF A COMPOSITE MATERIAL FOR LASER DIMENSIONAL PROCESSING

<sup>1</sup>Samara State Technical University

<sup>2</sup>Samara Branch of P.N. Lebedev Physical Institute

An algorithm for constructing a geometric 3D model of a part made of a polymer composite material VKU-39 based on carbon fiber, intended for further finite element calculation of the temperature field in the part during laser dimensional processing and the choice of optimal cutting modes, was proposed and realized.

*Keywords:* composite materials, laser dimensional processing, 3D-modeling.

Полимерные композитные материалы (ПКМ) широко применяются в различных отраслях промышленности: при производстве космической и авиационной техники, в машиностроении, при изготовлении медицинской техники, спортивного инвентаря и др. При этом композитные материалы обладают высоким потенциалом расширения области применения, особенно перспективны ПКМ на основе углеродной ткани (УТ).

Наряду с преимуществами у ПКМ существует ряд недостатков, среди которых выделяются технологические проблемы механической обработки [1]. В частности, при сверлении отверстий возникают волосяины, расслоение и скалывание ПКМ в месте резания, заусенцы на выходе сверла, не достигается высокая чистота обработанной поверхности, имеют место низкая стойкость инструмента и его поломки, низкая производительность технологической операции и т. д.

Решить большинство технологических проблем механической размерной обработки ПКМ может применение гидроабразивной и лазерной технологий раскроя ПКМ, обладающих более высокой производительностью. При этом в области реза не возникает нарушений рельефа и структуры поверхностного слоя, присущих механической обработке, материал не получает механических повреждений.

Однако особенности, присущие ПКМ, пока не позволяют свободно применять лазерную резку как основную технологическую операцию. В отличие от сталей ПКМ обладают низкой теплопроводностью ( $\lambda \approx 0,3-0,5$  Вт/(м·град) [2], для сталей, например,  $\lambda \approx 20-40$  Вт/(м·град) [3]), за счет этого на некотором расстоянии от зоны резания достигаются температуры, при которых происходит деструктуризация эпоксидной матрицы (связующего) [4]. Размер зоны деструктуризации зависит от различных факторов: марки ПКМ, его толщины и структуры, а при импульсной лазерной обработке (ЛО) и от длительности, энергии и формы импульса

лазерного излучения и др. Существующие способы лазерной резки непрерывным, импульсным, импульсно-периодическим излучением предполагают применение многопроходной резки [5], одномодового излучения, импульсов короткой длительности (пикосекундного диапазона), специальных способов организации технологического процесса [1], [6], [7]. Сложность выбора технологических режимов лазерной резки композиционных материалов определяется существенно разными как физическими, так и оптическими характеристиками армирующих волокон и связующего [6].

Проблема современной технологии лазерной резки ПКМ заключается в определении оптимальных режимов ЛО для конкретной детали с целью минимизации зоны термического влияния (ЗТВ) при минимальной трудоемкости процесса резки.

Задачу выбора оптимальных режимов лазерной резки целесообразно решать в два этапа. На первом из них должна быть построена геометрическая 3D-модель участка композиционного материала, предназначенного для ЛО. Этот этап является подготовительным для последующего выбора режимов лазерной резки (прошивки отверстий), который планируется реализовать методом конечных элементов при построении тепловой модели лазерной размерной обработки ПКМ.

Среди всего многообразия существующих композиционных материалов для проведения исследования в работе выбран один из перспективных ПКМ марки ВКУ-39, который, в основном, рекомендуется для изготовления деталей силовых конструкций планера, звукопоглощающих конструкций двигателя [8]. Углепластик ВКУ-39 состоит из армирующей равнопрочной УТ (артикул 3692) фирмы «Porchet» (Франция) и эпоксидного связующего ВСЭ-1212 ТУ 1-595-12-1068-2009 [8, 9].

Два материала с различными свойствами образуют углепластик ВКУ-39, поэтому 3D-модель ПКМ была спроектирована в виде сборки,

представляющей два набора тел. К первому набору относится УТ, ко второму – оксидное связующее. Углеродная ткань, в свою очередь, состоит из углеродных нитей, сплетенных между собой особым образом. Эпоксидное связующее (матрица) заполняет все свободное пространство между углеродными нитями.

В каталоге фирмы производителя УТ «Pocher» для наиболее распространенной равнопрочной ткани артикул 3692 указано: саржевое плетение «2×2 Twill». Для этого типа плетения нити в поперечном и продольном направлениях чередуются через 2; количество нитей на 1 см – «5.0×5.0», таким образом, ширина одной нити – 2 мм [10].

Построение модели проводилось на участке детали с габаритными размерами 20×20×1 мм,

достаточными в последующем для расчета температурного поля при лазерной размерной обработке. Толщина УТ составляет 0,19–0,24 мм [9]. Для определенности толщину ткани для построения модели примем равной 0,19 мм. Слои УТ не прилегают друг к другу плотно, это пространство между слоями занимает эпоксидное связующее. Тогда, с учетом эпоксидного связующего, примем, что для получения готовой детали толщиной 1 мм из углепластика необходимо четыре слоя УТ.

Построение участка детали из ПКМ с габаритными размерами 20×20×1 мм проводилось в программном пакете «КОМПАС-3D». На рис. 1 представлена структурная схема построения данного участка, иллюстрирующая основные этапы моделирования.

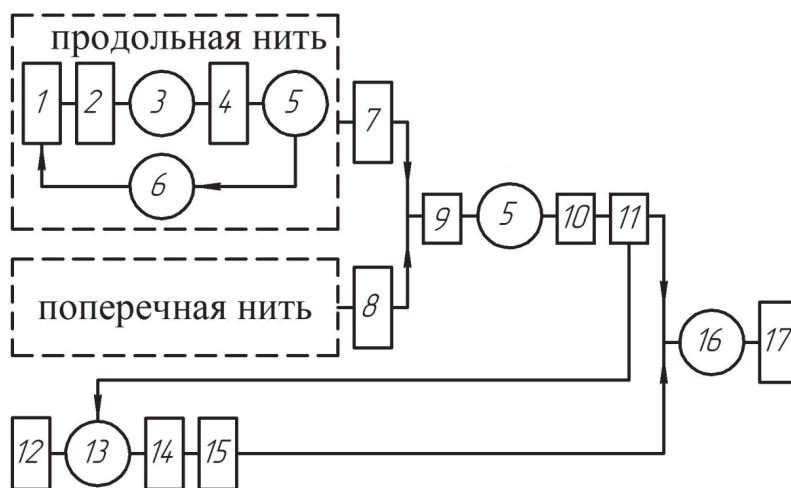


Рис. 1. Структурная схема построения модели участка ПКМ:

1 – эскиз сечения нити УТ; 2 – эскиз для вытягивания нити; 3 – процедура «Кинематическая операция»; 4 – сформированная одна нить ткани; 5 – операция «Массив по сетке»; 6 – оператор цикла; 7 – продольный слой ткани; 8 – поперечный слой ткани; 9 – один слой ткани; 10 – четыре слоя ткани; 11 – сохраненная в отдельный файл модель четырех слоев ткани; 12 – модель будущей полимерной матрицы (прямоугольный параллелепипед 20×20×1 мм); 13 – вычитание моделей четырех слоев ткани из модели будущей полимерной матрицы; 14 – модель полимерной матрицы; 15 – сохраненная в отдельный файл модель полимерной матрицы; 16 – вставка в один файл моделей полимерной матрицы и четырех слоев УТ; 17 – модель участка ПКМ

Разработка модели начинается с построения эскиза сечения нити УТ (рис. 2, а). Так как слой рассматриваемой УТ состоит из продольных и поперечных нитей характерного плетения, то наибольшая толщина УТ в 0,19 мм достигается в месте их пересечения. Таким образом, толщина одной нити равна половине толщины одного слоя УТ:  $0,19/2 = 0,095$  мм. Ширина нити 2 мм. Для определенности примем, что форма сечения нити – эллипс.

Следующая операция заключается в построении в плоскости перпендикулярной эскизу сечения нити эскиза траектории формирования нити

(рис. 2, б). С использованием процедуры «Кинематическая операция» по этим двум эскизам формируется одна нить УТ (рис. 3, а). В результате повторения описанных процедур (рис. 1, позиция б) аналогично первой строится вторая, затем третья и четвертая нити. Для обеспечения заданного типа плетения был реализован алгоритм построения каждого последующего эскиза траектории со смещением влево на 2 мм – ширину одной нити.

С помощью команды «Массив по сетке», предназначенной для дублирования геометрических элементов, копируются оставшиеся нити продоль-

ного слоя ткани (рис. 3, б), где зеленым цветом выделены копируемые и вновь созданные нити.

Аналогичным способом строятся эскизы сечений нитей и траекторий вытягивания, а по ним нити в поперечном направлении. Так полу-

чается один слой УТ размерами 20×20×0,19 мм (рис. 4, а). С помощью команды «Массив по сетке» (рис. 1) из полученного слоя ткани создается еще три слоя (рис. 4, б). Модель полученной УТ сохраняется в отдельный файл.

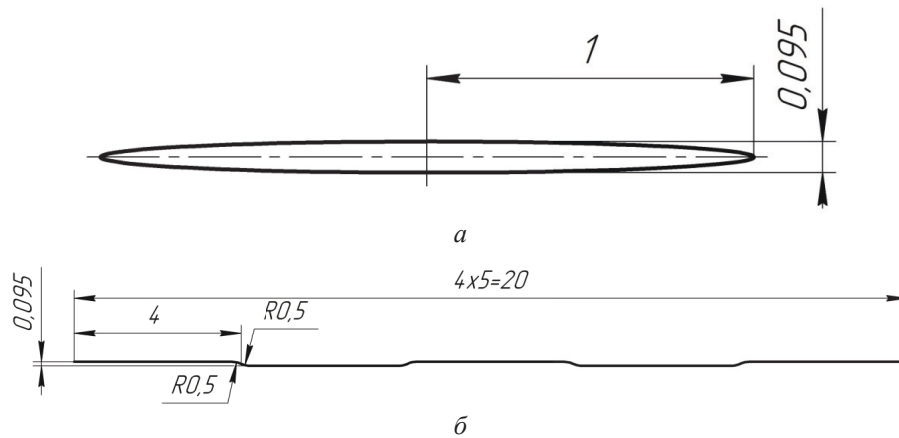


Рис. 2. Построение эскизов углеродных нитей:  
а – эскиз сечения нити УТ; б – эскиз траектории формирования нити УТ

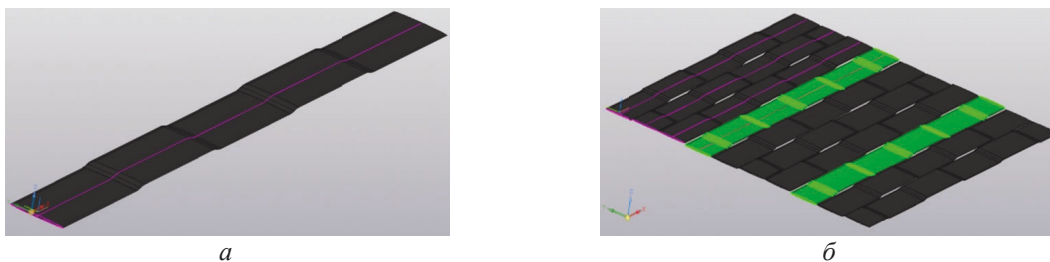


Рис. 3. Построение 3D-модели нитей УТ:  
а – построение нити УТ; б – результат копирования нитей

На следующем этапе строится модель будущей матрицы (тела эпоксидного связующего) размерами 20×20×1 мм. Для создания матрицы с помощью булевой операции из параллелепи-

педа с габаритными размерами 20×20×1 мм вычитаются нити ткани. Полученная модель матрицы сохраняется в отдельный файл.

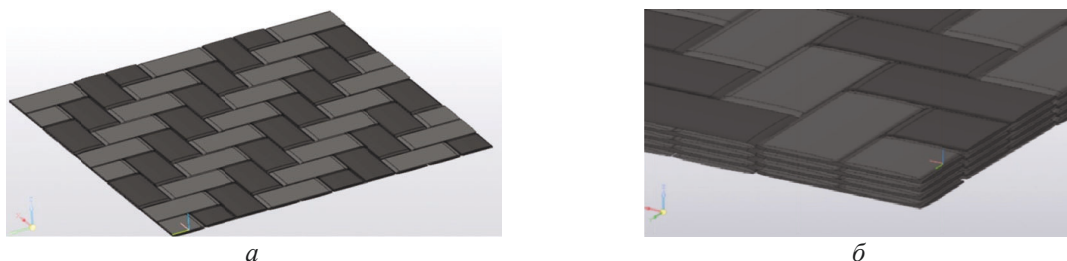


Рис. 4. Построение четырех слоев УТ:  
а – один слой УТ; б – четыре слоя УТ

На последнем этапе создается файл сборки, в который из отдельных файлов вставляются модели матрицы и УТ. В результате описанных

выше процедур имеем готовую модель участка из ПКМ (рис. 5).

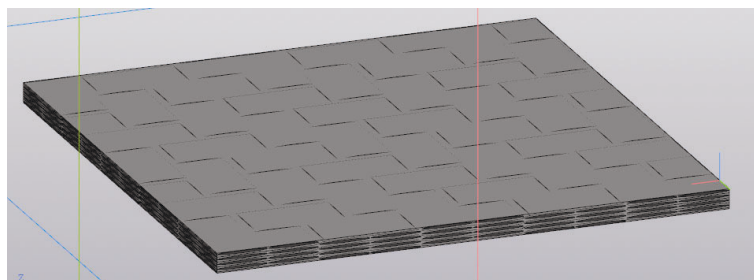


Рис. 5. Готовая модель участка детали из ПКМ

Итак, в результате выполнения описанных выше операций создана геометрическая 3D-модель участка детали из ПКМ. Данная модель может быть использована для конечно-элементного моделирования и расчета температурного поля при лазерной обработке, в частности, для моделирования процесса лазерной резки (прошивки отверстий) и выбора оптимальных режимов обработки, обеспечивающих минимальную зону деструктуризации ПКМ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Раскутин, А. Е. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций (обзор) [Электронный ресурс] / А. Е. Раскутин, А. В. Хрульков, Р. И. Гириш // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2016. – № 9. – Ст. 12. Режим доступа: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=1013](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1013)
2. Температурные зависимости теплопроводности композиционных материалов на основе полипропилена с углеродными нановолокнами / Н. Ф. Майникова [и др.] // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 548–552.
3. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В. Г. Соколин [и др.]. – М. : «Интернет Инжиниринг», 2001. – 608 с.
4. Гуреев, Д. М. Лазерный раскрой углеродных композиционных материалов / Д. М. Гуреев, С. И. Кузнецов, А. Л. Петров // Известия Самарского научного центра РАН. – 1999. – Т. 1, № 2. – С. 255–264.
5. Котов, С. А. Оценка зоны термического влияния при обработке углепластиков непрерывным излучением волоконного иттербиевого лазера / С. А. Котов, Н. А. Лябин, М. А. Казарян // Краткие сообщения по физике. – 2019. – № 2. – С. 53–60.
6. Некоторые аспекты лазерной резки полимеров и ПКМ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/articles/239/>
7. Пат. 2689346 Российская Федерация, МПК В23К 26/382, В23К 26/14, Способ лазерной резки тонколистового углепластика / Наседкин Ю. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель АО «ОНПП "Технология" им. А. Г. Ромашина». – № 2018134828; заявл. 01.10.2018; опубл. 27.05.2019. Бюл. № 15. – 6 с.
8. Мишуров, К. С. Влияние внешней среды на свойства углепластика ВКУ-39 [Электронный ресурс] / К. С. Мишуров, С. И. Мишкин // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2016. – № 12. – Ст. 8. Режим доступа: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=1045](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1045)
9. Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов: официальный сайт [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://catalog.viam.ru/catalog/>
10. Selector Guide Composites. 2017. Porcher industries: официальный сайт [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.porcher-ind.com/upload/media\\_center/dab29-selector-guide-composites.pdf](https://www.porcher-ind.com/upload/media_center/dab29-selector-guide-composites.pdf)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 629.365

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-51-54

*В. В. Арыканцев, Я. В. Калинин, Н. Г. Шаронов, В. В. Чернышев*

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИДАРОВ В ШАГАЮЩИХ АППАРАТАХ, ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ\*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: arvstu@mail.ru

Обсуждаются перспективы использования лидара в качестве элемента технического зрения подводных шагающих аппаратов. Машины шагающего типа представляются наиболее подходящими для условий морского дна. Предлагаемые элементы имеют ряд преимуществ, по сравнению с более традиционными видео-сенсорами. Показаны уже существующие патенты, применимые для использования в условиях морского дна. Предлагается использование лидаров для системы автоматического распознавания и определения геометрических размеров аномалий и элементов конструкции технологических трубопроводов нефтегазовой отрасли.

*Ключевые слова:* шагающие машины, исследование морского дна, лидар, видеосенсоры, техническое зрение.

*V. V. Arykantsev, Ya. V. Kalinin, N. G. Sharonov, V. V. Chernyshev*

### PROSPECTS OF LIDAR APPLICATION IN WALKING BOTTOM MOVED DEVICES

Volgograd State Technical University

The prospects of using lidar as an element of technical vision of underwater walking vehicles are discussed. Walking machines appear to be the most suitable for seabed conditions. The proposed elements have a number of advantages over more traditional image sensors. Shown are already existing patents applicable for use in seabed conditions. It is proposed to use lidars for a system of automatic recognition and determination of geometric dimensions of anomalies and structural elements of technological pipelines in the oil and gas industry.

*Keywords:* walking machines, seabed exploration, lidar, video sensors, technical vision.

Разработкой и применением шагающих машин и роботов в различных сферах деятельности занимаются все развитые страны мира [1], [2]. Шагающие машины, по сравнению с колесными и гусеничными, имеют существенные преимущества при движении по неподготовленным поверхностям – они способны адаптироваться к наклону опорной поверхности и реализовывать значительно большие тяговые усилия, чем машины с традиционными движителями [3], [4], [5].

Вместе с тем, при движении по морскому дну возникает необходимость решения вопроса построения ближайшего окружения аппарата

средствами технического зрения. Как показали подводные испытания шагающего аппарата, движение робота по информации, поступающей с видеосенсоров оператору, находящемуся на берегу, происходит в условиях неполного и неоднозначного представления об окружающей обстановке, это приводит к тому, что оператор по данным видеокамер не всегда успевает среагировать на появляющееся препятствие [4], [5]. Данная проблема для шагающих машин с цикловыми движителями частично решена с помощью нечеткой логики и пассивного управления стопами шагающих машин. Алгоритм заключается в определении угловых ско-



ростей стоп и звеньев механизмов шагания, а также положения и скоростей узловых точек механизмов в системе отсчета, жестко связанной с корпусом аппарата в фазах контактного взаимодействия с грунтом и переноса опорных

элементов. Любое отклонение поведения стопы от «программного» позволяет определить некоторую информацию об окружающей обстановке. На основе этой информации составляется характеристика препятствий (рис. 1) [6].

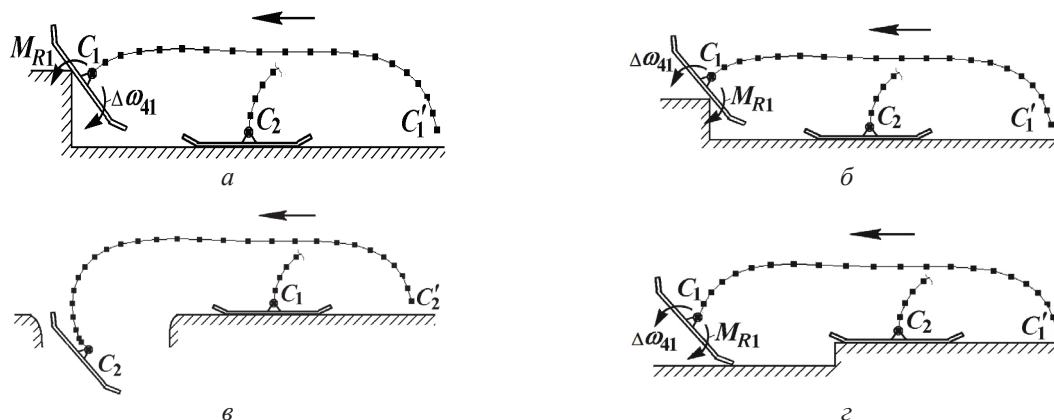
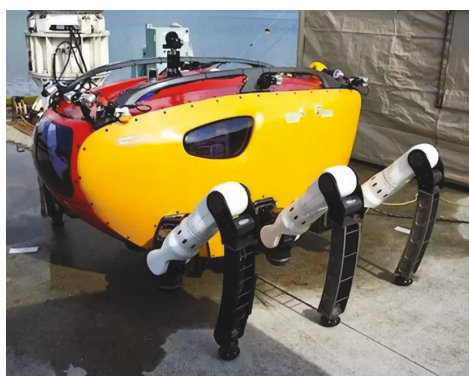


Рис. 1. Характеристики ситуаций при движении шагающих машин под водой:  
а – «высокое»; б – «невысокое»; в – «глубокое»; г – «неглубокое»

Применение лидаров в системе технического зрения подводной шагающей машины способно помочь в решении вопроса о составлении карты рельефа ближайшего морского дна и о наличии препятствий на заданном пути следования робота для последующей их цифровой обработки и, при необходимости, корректировки траектории движения шагающего аппарата внутренними алгоритмами на низшем уровне системы управления.

Наибольший опыт в разработке лидаров, пригодных для подводных условий, имеет американская корпорация «Kaman» – сотрудникам этой

организации удалось одним из первых запатентовать работоспособную технологию [7]. Рассеивание света в воде, по сравнению с воздухом, происходит значительно интенсивнее, поэтому в условиях морского дна получение информации об окружающих объектах будет ограничиваться несколькими десятками метров. Однако, этого вполне достаточно для использования в шагающих аппаратах. Например, максимальная скорость движения шагающего аппарата Crabster CR200 (рис. 2, а) около 1 км/ч [8], а при подводных испытаниях шагающего аппарата МАК-1 (рис. 2, б) удавалось достичь скоростей 5–7 км/ч [4], [5].



а



б

Рис. 2. Шагающие аппараты Crabster CR200 (Южная Корея) (а); МАК-1 (Россия) (б)

Применение лидаров возможно и в ситуации, когда сенсоры не установлены непосредственно на роботе. Упомянутая выше корпора-

ция имеет патент на управление необитаемыми подводными аппаратами по оптическому каналу связи с использованием лидара [9].

Таким образом, применение лидаров в подводных условиях открывает широкие возможности не только при исследовании рельефа морского дна, но и при внедрении систем искусственного интеллекта для робототехнических комплексов, предназначенных для подводно-грунтовых работ.

Применение 3D-лидаров в системах технического зрения описанных выше шагающих аппаратах позволит с высокой точностью строить карты рельефа ближайшего морского дна. Это особенно актуально, когда движение происходит в условиях неполного и неоднозначного представления об окружающей обстановке. Полученная информация может обрабатываться бортовыми средствами управления и, при необходимости, траектория движения будет корректироваться на низшем уровне. При использовании группы роботов карта рельефа морского дна будет более полной. Причем, системе управления можно организовать таким способом, чтобы сами роботы обменивались полученными данными о рельефе дна и препятствиях между собой, что особенно важно при выполнении группой автономных единиц совместных задач. Такой способ управления уже исследовался ранее и применялся для управления группой шагающих аппаратов в реальных условиях [10], [11], [12], [13]. Вместе с тем, управление группой донных шагающих аппаратов может осуществляться с подводного судна сопровождения в автономном режиме или режиме супервизорного управления. Использование лидаров в данном случае возможно, если роботы находятся в зоне видимости судна сопровождения, тогда управление происходит по оптическому каналу связи [9]. В последнем случае карта рельефа морского дна, полученная при помощи лидара, будет более полно отображать его состояние, чем при использовании традиционных видеосенсоров. Известны случаи, когда использование видеосенсоров при управлении с поверхности оператором не давали однозначного представления о текущей ситуации и происходило столкновение с препятствиями [4], [5]. В частности, лидары можно использовать чтобы распознавать швы и соединительные элементы трубопроводов. Кроме того, возможно получение диагностических данных о состоянии соединений и самих трубопроводов – система способна идентифицировать «аномальные» участки объектов мониторинга и определять некоторые их параметры,

например, размер, положение и ориентацию в пространстве. Лидары обеспечат высокую точность определения параметров «аномальных» участков, по сравнению с более традиционными элементами технического зрения.

Результаты работы могут быть использованы при разработке подводных роботов, предназначенных для исследования, мониторинга, освоения ресурсов морского дна, а также для прокладки и обслуживания трубопроводов нефтегазовой отрасли под водой.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sun, Y. Design of a snake robot based on modular joint / Y. Sun, F. Ni, Y. Zhou, Y. Zhang, Y. Liu, H. Liu // Proceedings of the 22nd International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2019) – 2019. – pp. 53–60.
2. White, T.S. A Mobile Climbing Robot for High Precision Manufacture and Inspection of Aerostructures / T. S. White, R. Alexander, G. Callow, A. Cooke, S. Harris, J. Sargent // The International Journal of Robotics Research. – 2005. – Vol. 24. – pp. 589–598.
3. Чернышев, В. В. Структура энергозатрат шагающих машин и роботов при реализации больших тяговых усилий / В. В. Чернышев, В. В. Арыканцев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 6–18.
4. Чернышев, В. В. Underwater tests of the walking robot MAK-1 / V. V. Chernyshev, V. V. Arykantsev, Ya. V. Kalinin // Human-Centric Robotics : Proceedings of the 20th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2017) (Porto, Portugal, 11-13 September, 2017) / School of Engineering of the Porto Polytechnic. – [Publisher : World Scientific], [2018]. – P. 571–578.
5. Арыканцев, В. В. Подводные исследования тяговоцепных свойств и проходимости шагающего аппарата MAK-1 / В. В. Арыканцев, В. В. Чернышев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 10 (Тем. вып. «Проблемы управления и робототехника»). – С. 169–178.
6. Арыканцев, В. В. Алгоритм адаптации подводного шагающего аппарата по информации о встрече стоп с препятствиями / В. В. Арыканцев, В. Е. Пряничников, В. В. Чернышев // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2018. – № 12. – С. 24–32.
7. U.S. Patent 4862257, H04N 7/18, Imaging Lidar System / Bobby L. Ulich; Kaman Aerospace Corp. - 1989.
8. Crabster CR200: New Record of Underwater Walking Speed – 0.5 knots [Электронный ресурс] : Bong Huan Jun. URL: <https://youtu.be/O8361Uq97DQ>
9. U.S. Patent 5442358, G01S 13/86, G01S 15/89, G01S 13/89, Imaging Lidar Transmitter Downlink For Command Guidance Of Underwater Vehicle / R. Norris Keeler, Robert S. Manthy, Troy J. LaMontague, Randall McGee; Kaman Aerospace Corp. - 1993.
10. Briskin, E. S. Walking machines (elements of theory, experience of elaboration, application) / E.S. Briskin, V.V. Zhoga, V.V. Chernyshev, A.V. Maloletov, Y.V. Kalinin, N.G. Sharonov // Emerging Trends in Mobile Robotics : proc. of the 13th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2010). / NITech. Nagoya, Japan, 2010. P. 769-776.

11. *Pryanichnikov V. E.* Enhancing the Functionality of the Groups of Autonomous Underwater Robots / V. E. Pryanichnikov, V. V. Chernyshev, V. V. Arykantsev, A. A. Ayskin, S. Eprikov, A. Ksenzenko, S. M. Petrakov // Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing & Automation (Zadar, Croatia, EU, 24-27th October 2018) / ed. by B. Katalinic ; Danube Adria Association for Automation & Manufacturing (DAAAM International Vienna), Vienna University of Technology. – Vienna (Austria), 2018. – P. 1319-1325.

12. *Briskin, E. S.* On Optimal Laws of Groups of Walking

Robots Motion while Solving Formation Task / E.S. Briskin, A.V. Maloletov // Proceedings of the 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017 (Prague, June 19-22, 2017) / Editors: M. Valasek [et al.] ; Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering [et al.]. – Prague, 2017. – P. 601-605.

13. *Briskin, E. S.* Control of motion of a legged locomotion machine with minimal-power motor / E. S. Briskin, V. V. Zhoga, A. V. Maloletov // Mechanics of Solids. – 2009. – Vol. 44, № 6. – С. 828–836.

УДК 681.5:622.276

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-54-56

*К. А. Драпак<sup>1</sup>, Т. С. Кадыгрова<sup>1</sup>, Е. Г. Крылов<sup>1</sup>, А. В. Капитанов<sup>2</sup>*

### ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ РЕГАЗИФИКАЦИОННОГО ТЕРМИНАЛА

<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет

<sup>2</sup> Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: app@vstu.ru

В статье рассмотрены особенности эксплуатации технологических установок газоперерабатывающих производств с повышенным риском, приведена методика анализа и контроля рисков регазификационного терминала с использованием метода LOPA. Описана оценка вероятности отказов «на требование» с учетом обеспечения полноты безопасности для высокотехнологичных автоматизированных систем.

*Ключевые слова:* регазификационный терминал, анализ LOPA, надежность, безопасность, риск.

*K. A. Drapak<sup>1</sup>, T. S. Kadygrova<sup>1</sup>, E. S. Krylov<sup>1</sup>, A. V. Kapitanov<sup>2</sup>*

### ASSESSMENT OF THE REGASIFICATION TERMINAL'S PROTECTION RELIABILITY LEVEL

<sup>1</sup> Volgograd State Technical University

<sup>2</sup> Moscow State Technological University Stankin

The article discusses the process units operation features for high risk gas refineries, and provides a methodology for analyzing and controlling the risks of a regasification terminal using the LOPA method. A probability's assessment of on-demand failures is described with account for the provision of complete security for high-tech automated systems.

*Keywords:* regasification terminal, LOPA analysis, reliability, safety, risk.

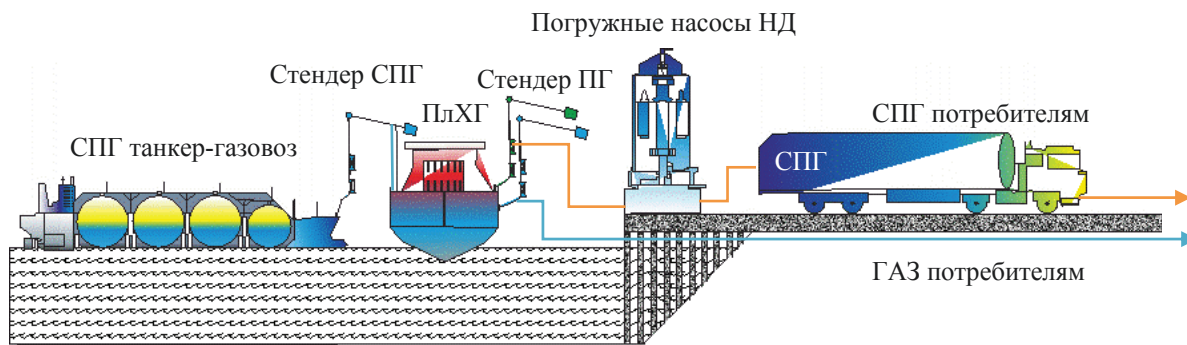
Эксплуатация регазификационных терминалов сжиженного природного газа (СПГ-терминалов) комплекса «Роснефть СПГ» выявила необходимость изучения и снижения экологических рисков, возникающих при работе оборудования в суровых климатических условиях России (морозы, жаркий климат, повышенная влажность, шквальные ветры). В частности, из-за аномально низкого уровня температур и при сложной ледовой обстановке в зимний период времени закрываются экспортные терминалы на Балтийском море и в Хабаровском крае, что негативно отражается на результатах деятельности и финансовом положении «Роснефть СПГ» [1].

СПГ-терминал представляет собой специальный регазификационный комплекс, состоящий из причала, сливной эстакады, резервуаров для хранения, испарительной системы, установок обработки газов испарения из резервуаров

и узла учета (рисунок). Технологическое оборудование СПГ терминала включает: стендеры для загрузки газа на танкеры; изотермические резервуары для хранения; компрессоры и реконденсаторы опарного газа; испарители или регазификаторы СПГ; погружные насосы низкого давления резервуаров.

Проектирование СПГ-терминалов в части общих требований осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 54257, ГОСТ Р 54382, ГОСТ 5Р4483, а также правилами [2]. При строительстве и эксплуатации СПГ-терминала необходима количественная оценка рисков, которая позволит учитывать прилегающие или находящиеся в сфере ответственности портовые хозяйства и зоны проживания гражданского населения, а также географические условия портовых территорий и курортных зон с целью снижения вероятности возникновения аварий и техногенных катастроф.





Технологическая схема оборудования СПГ-терминала

Для решения данной задачи может быть использован анализ LOPA, в котором возможные последствия рассчитываются до порядка величины серьезности, что значительно проще, чем математическое моделирование, но при этом позволяет сравнивать риски различных сценариев.

Каждая опасность представляет собой сценарий, основанный на диаметре отверстий утечек: 1–3 мм, 3–10 мм, 10–50 мм и 50–150 мм. По результатам этого исследования риски, которые попадают в категорию ALARP (настолько низкий, насколько это разумно осуществимо), включают BLEVE (взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости), взрывы и рассеивание газа. Основными способами снижения рисков с помощью LOPA являются структурная избыточность системы автоматизации и обеспечение независимой защиты с помощью датчиков утечки газа, дыма, обнаружения пламени. При выполнении анализа LOPA требуется оценка воздействия на персонал и на окружающую среду. В большинстве случаев данные о последствиях потенциальной опасности могут быть получены из рабочих таблиц анализа РНА/HAZOP [3].

Методика оценки заключается в следующем. Для каждой пары «иницирующее событие и следствие» в качестве сценария необходимо выполнить три расчета в соответствии с LOPA, характеризующих риски в области промышленной безопасности и охраны окружающей среды. Для определения вероятности

отказа по требованию автоматической функции обеспечения безопасности  $VOпT_{АФОБ}$  требуется:

1) определить вероятность инициирующей причины (ВИП) и вероятность отказа по требованию ( $VOпT$ ) каждого независимого уровня защиты;

2) определить промежуточную вероятность события (ПВС) для каждой инициирующей причины путем умножения значений ВИП и  $VOпT$  каждого независимого уровня защиты;

3) при наличии более одной инициирующей причины для одной и той же опасности ПВС все инициирующие причины суммируются и результат используется как знаменатель при вычислении  $VOпT_{АФОБ}$ .

Значения функции  $VOпT_{АФОБ}$  вычисляются по выражению:

$$VOпT_{АФОБ} = \frac{TMEL_{(ТАБЛ)}}{ПВС_1 + ПВС_2 + ПВС_3 + \dots + ПВС_n},$$

где  $TMEL$  – табличное значение расчетной вероятности события после снижения риска;  $ПВС$  – промежуточная вероятность события, причем:

$$ПВС = (ВИП \cdot VOпT_1 \cdot VOпT_2 \times \dots \times PTR \cdot PP \cdot P_1 \cdot P_V),$$

где ВИП – вероятность инициирующей причины;  $VOпT_1, VOпT_2$  –  $VOпT$  для каждого независимого уровня защиты;  $PTR$  – вероятность времени подверженности риску;  $PP$  – вероятность присутствия людей;  $P_1$  – вероятность возгорания;  $P_V$  – уязвимость.

Отказы на производстве с повышенным риском [3]

| Событие   | Вероятность отказа оборудования НПЗ |
|---|-------------------------------------|
| Катастрофический или крупный выброс                             | $4,0 \times 10^{-2}$ / год          |
| Катастрофический и крупный местный пожар                        | $3,3 \times 10^{-3}$ / год          |
| Катастрофический и крупный пожар облака газовой-воздушной смеси | $6,0 \times 10^{-3}$ / год          |
| Катастрофический взрыв облака паров                             | $1,3 \times 10^{-3}$ / год          |
| Катастрофический или крупный выброс без воспламенения           | $2,0 \times 10^{-2}$ / год          |

Если значение  $VOПТ_{АФОБ}$  больше или равно единице, существующие уровни защиты считаются достаточными для снижения риска до допустимого уровня.

Если значение  $VOПТ_{АФОБ}$  меньше единицы и при этом имеется автоматическая функция обеспечения безопасности, значение  $VOПТ_{АФОБ}$  используется для определения требований по надежности существующей автоматической функции обеспечения безопасности.

Если значение  $VOПТ_{АФОБ}$  меньше единицы и при этом отсутствует автоматическая функция обеспечения безопасности для какой-либо из двух областей (ПБ или ООС), имеющиеся уровни защиты считаются недостаточными для снижения риска до приемлемого уровня. В этом случае даются рекомендации по переработке системы, добавлению дополнительных уровней защиты или автоматической функции обеспечения безопасности. При составлении рекомендаций для АФОБ следует использовать значение  $VOПТ_{АФОБ}$  для определения требований

в отношении надежности новой автоматической функции обеспечения безопасности.

Таким образом, методика оценки уровня надежности защиты СПГ-терминала с помощью метода LORA является эффективным инструментом, позволяющим достичь требуемых проектных показателей снижения риска, идентификации вероятности опасных событий и повышения безопасности газовых терминалов за счет мониторинга газораспределительных систем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Роснефть». Основные факторы риска [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.rosneft.ru> (дата обращения: 03.02.2021).
2. Правила Российского морского регистра судоходства. Правила классификации, постройки и оборудования морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов НД 2–020201–017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru> (дата обращения: 12.02.2021).
3. Методические указания компании «Роснефть». Единые технические требования. Соединительные детали трубопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakupki.rosneft.ru> (дата обращения: 03.02.2021).

УДК 67.05

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-56-59

*Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, Р. М. Сальников, А. М. Макаров*

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НА БАЗЕ МАКЕТА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА «SCARA»

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: [zhenya.dyachenko.1999@gmail.com](mailto:zhenya.dyachenko.1999@gmail.com)

Проводится экспериментальная разработка и изготовление прототипа SCARA-робота для дальнейшего его использования в качестве лабораторного стенда. Приведено описание экспериментального прототипа, принцип управления и анализ результатов.

*Ключевые слова:* SCARA-робот, учебные стенд, управление, прототип.

*E. A. Dyachenko, M. Y. Kozenko, R. M. Salnikov, A. M. Makarov*

#### DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE AUTOMATED LABORATORY STAND BASED ON THE PROTOTYPE OF THE INDUSTRIAL ROBOT «SCARA»

Volgograd State Technical University

Experimental development and manufacture of a SCARA-robot prototype for further use in laboratory stands is underway. The description of the experimental prototype, the control principle and the analysis of the results are given.

*Keywords:* SCARA-robot, training stand, control, prototype.

В настоящее время автоматизация и роботизация имеет широкое применение в различных сферах производства. Данные комплексы внедряются в технологический процесс для повышения его качества и скорости производ-

ства [1]. Обучение студентов работе с современными роботами и робототехническими комплексами, способам их настройки, программирования и эксплуатации является важной и актуальной задачей.



Создание недорогих работоспособных экспонатов и лабораторных стендов позволяет наглядно продемонстрировать на практике конструктивные особенности робототехнических систем и обучить принципам управления роботом [2], [3].

Для решения поставленной задачи производится проектирование и изготовление рабочего прототипа лабораторного стенда в виде роботизированной руки с приводами от шаговых двигателей с микропроцессорной системой управления. За основу использовался проект робота-сортировщика с кинематической схемой SCARA. Проект был создан таким образом, чтобы максимально большую часть комплектующих можно изготовить с помощью аддитивных технологий.

Для реализации проекта модернизированы и изготовлены методом 3D-печати основные

элементы устройства, закуплены метизы и другие элементы для сборки устройства, разработана схема подключения, выполнена сборка и наладка робота. В ходе печати используются PLA и PET пластики, поскольку они удовлетворяют условиям эксплуатации и не имеют склонности к изменению геометрии изготавливаемого изделия в процессе печати.

Общий вид стенда (3D модель) представлен на рис. 1. Металлический стол (база) 1 является основой для крепления колонны 2, фидера 3 и рабочей платформы 4. На колонне 2 крепится механизм робота типа SCARA 5. Положением рабочего органа задается изменением углов несущих рычагов, которое осуществляется шаговыми двигателями посредством ременной передачи. В качестве рабочего органа выступает экструдер 6.

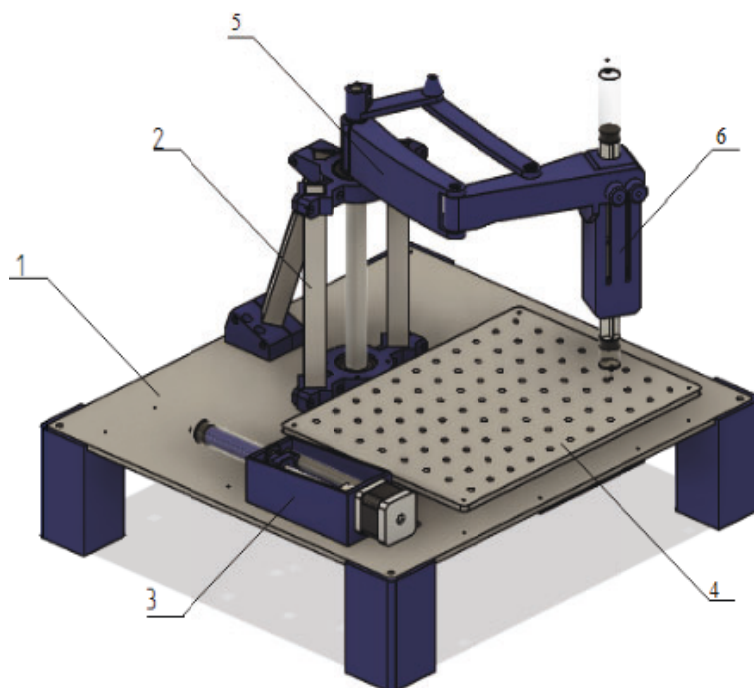


Рис. 1. Общий вид стенда (3D модель)

Управление осуществляется системой управления, основанной на плате MKS GEN v1.4 [4], рис. 2. Питание подается на соответствующие клеммы платы MKS GEN V1.4, а связь с ПК осуществляется с помощью USB-кабеля.

Шаговые двигатели получают питание и сигналы через драйверы шаговых двигателей A4988[5]. Данные драйверы позволяют настраивать ток обмоток двигателей индивидуально для каждого, не меняя параметры источника питания, а также изменять величину шага для более плавной работы установки. Сигнальные контак-

ты драйверов подключаются к соответствующим контактам на плате MKS GEN V1.4.

На драйвере A4988 расположено 16 контактов:

- EN – включение и выключение модуля (0 – включен, 5 В – выключен).
- MS1, MS2 и MS3 – выбор режима микрошаг.
- RST – сброс драйвера.
- SLP – вывод включения спящего режима, если подтянуть его к низкому состоянию драйвер перейдет в спящий режим.

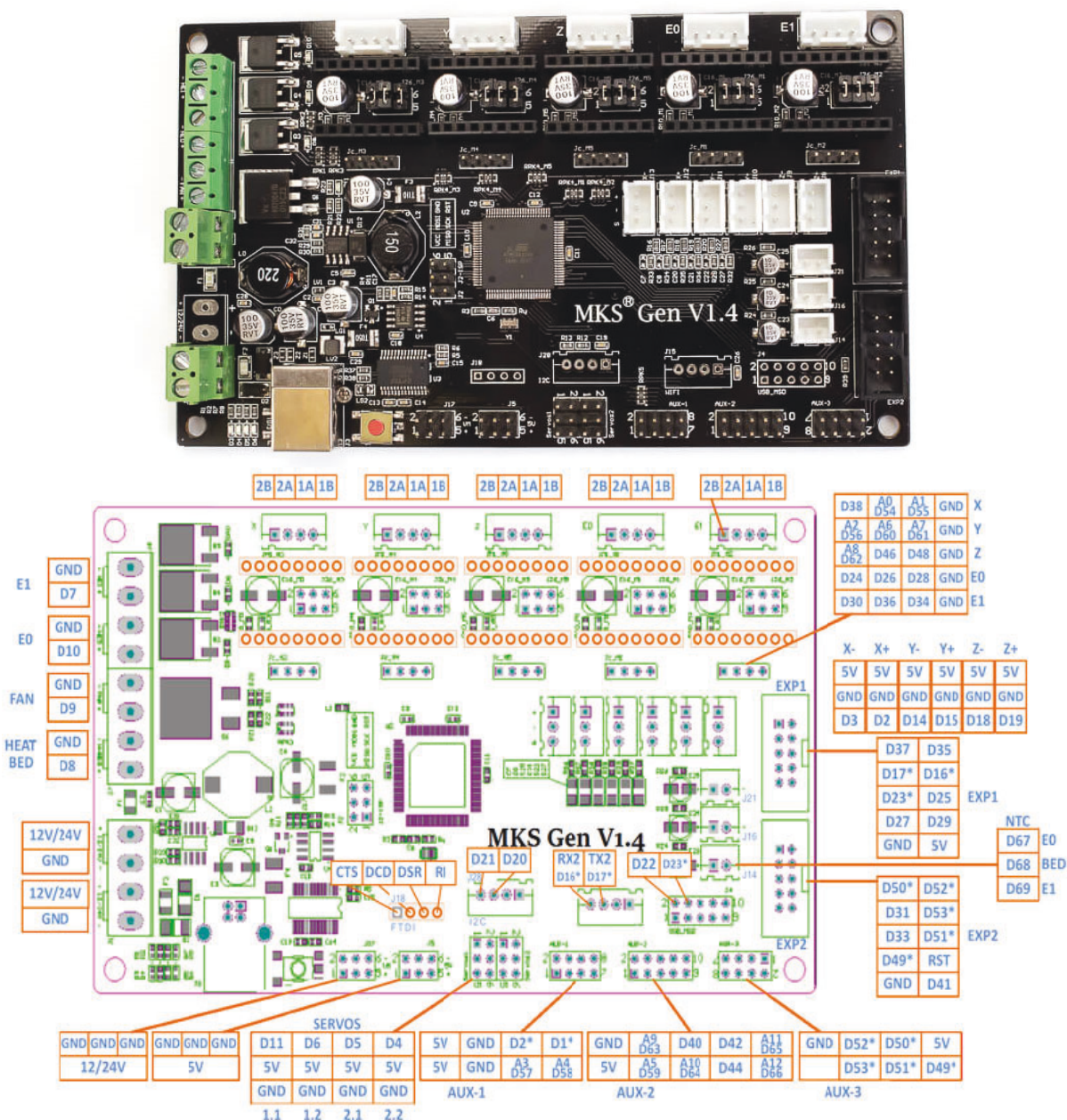


Рис. 2. Плата MKS GEN V1.4

- STEP – управляющий вывод, при каждом положительном импульсе, двигатель делает шаг (в зависимости от настройки микрошага), чем чаще подаются импульсы, тем быстрее вращаться двигатель.
- DIR – управляющий вывод, если подать +5 В двигатель будет вращается по часовой стрелке, а если подать 0 В против часовой стрелки.
- VMOT & GND – питание шагового двигателя от 8 до 35 В (обязательное наличие конденсатора на 100 мкФ).
- 2B, 2A, 1B, и 1A – подключение обмоток двигателя.

- VDD & GND – питание внутренней логики от 3 В до 5,5 В.
- Управление манипулятором можно осуществлять как с ПК, при помощи специальной программы, так и при помощи генератора импульсов, подключив его к соответствующим контактам драйверов – для тестирования работоспособности системы, т. к. генератор позволяет варьировать частоту и амплитуду импульсов, что является несомненным плюсом при пробном запуске.
- В результате получен полноценный лабораторный стенд с соответствующим программным обеспечением, позволяющий исследовать

устройством способы управления промышленным роботом с кинематической схемой SCARA. Разработаны методические указания для студентов, а стенд внедрен в учебный процесс на кафедре автоматизации производственных процессов и используется при проведении лабораторных и практических занятий по дисциплине «Промышленные роботы и РТК», направление подготовки бакалавров «Автоматизация технологических процессов и производств».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иконников, А. В. Модернизация системы управления напольного промышленного робота «Универсал-5» / А. В. Иконников, А. М. Макаров, М. В. Фомиченко // Из-

вестия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (231) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 63–66.

2. Промышленные роботы и роботизированные технологические комплексы : учеб. пособие / А. С. Сергеев, А. М. Макаров, С. Г. Поступаева, Ж. С. Тихонова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 127 с.

3. Макаров, А. М. Промышленные роботы и РТК. Лабораторный практикум : учеб. пособие / А. М. Макаров, А. С. Сергеев, С. Г. Поступаева ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 158 с.

4. Обзор платы MKS GEN v1.4 // 3D-diy.ru URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/plata-mks-gen-v1-4/> (дата обращения: 10.02.2021).

5. Обзор драйвера A4988 // 3D-diy.ru URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drajver-shagovogo-dvigatelya-a4988/> (дата обращения: 10.02.2021).

УДК 681.5:622.276

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-59-62

*Т. С. Кадыгрова, Е. Г. Крылов, А. Д. Лагутина, Н. В. Козловцева*

#### МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА ПОДОГРЕВА ГАЗА НА АГРС

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: t.kadygrova@mail.ru

Рассматривается усовершенствование средств подогрева газа на АГРС малых магистральных газопроводах. Проведен анализ существующих установок для подогрева газа, на основе которого была разработана компоновка блока подогрева газа с учетом найденных технологических решений.

*Ключевые слова:* газораспределительная станция, блок подогрева газа, природный газ.

*T. S. Kadygrova, E. G. Krylov, A. D. Lagutina, N. V. Kozlovtsava*

#### MODERNIZATION OF A GAS HEATING UNIT AT AGDS

Volgograd State Technical University

Improvement of gas heating means at AGDS of small main gas pipelines is considered. The analysis of existing gas heating installations was carried out, on the basis of which the layout of the gas heating unit was developed, taking into account the found technological solutions.

*Keywords:* gas distribution station, gas heating unit, natural gas.

Газораспределительная станция (ГРС) – это комплекс установок для распределения газа по веткам магистральных газопроводов и изменения его давления. ГРС обеспечивает подогрев, редуцирование, изменение расхода природного газа, а также его очистку от жидких и твердых примесей. В районах с умеренным и умеренно-холодным климатом все чаще используются автоматизированные версии ГРС (АГРС) из-за легкости управления ими дистанционно и большей точности регулирования показателей. Однако ГРС, находящиеся на пути проложенных малых газопроводов (рис. 1), имеют ряд существенных недостатков, например невозможность унификации расположения отдельных блоков станций из-за разнородности мест-

ности. Также можно отметить существенную трату ресурсов для бесперебойной подачи газа потребителю, в первую очередь в блоках подогрева газа.

Блок подогрева газа предназначен для подогрева газа до заданной температуры для исключения гидратообразования при дросселировании, а также поддержания необходимой температуры газа на выходе из ГРС [1], [3].

Блок подогрева газа состоит из нескольких основных узлов:

– узел подогрева газа – служит для подогрева газа до заданной температуры;

– узел подготовки теплоносителя – служит для подогрева теплоносителя (вода, незамерзающая жидкость) предназначенного для подогрева газа.

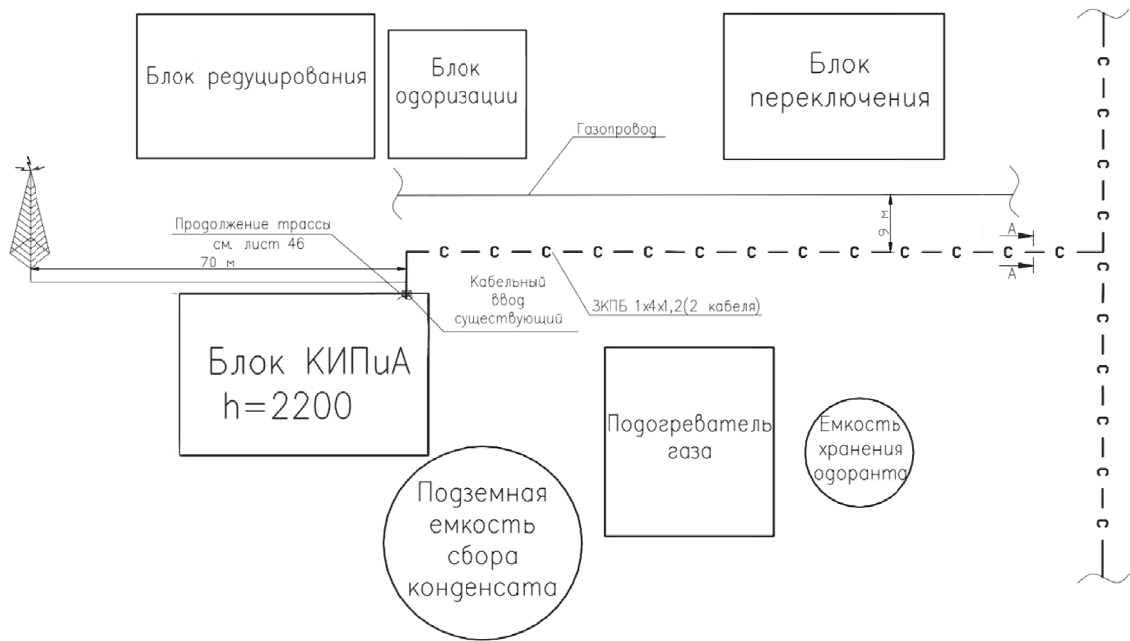


Рис. 1. План расположения оборудования и проводок на АГРС

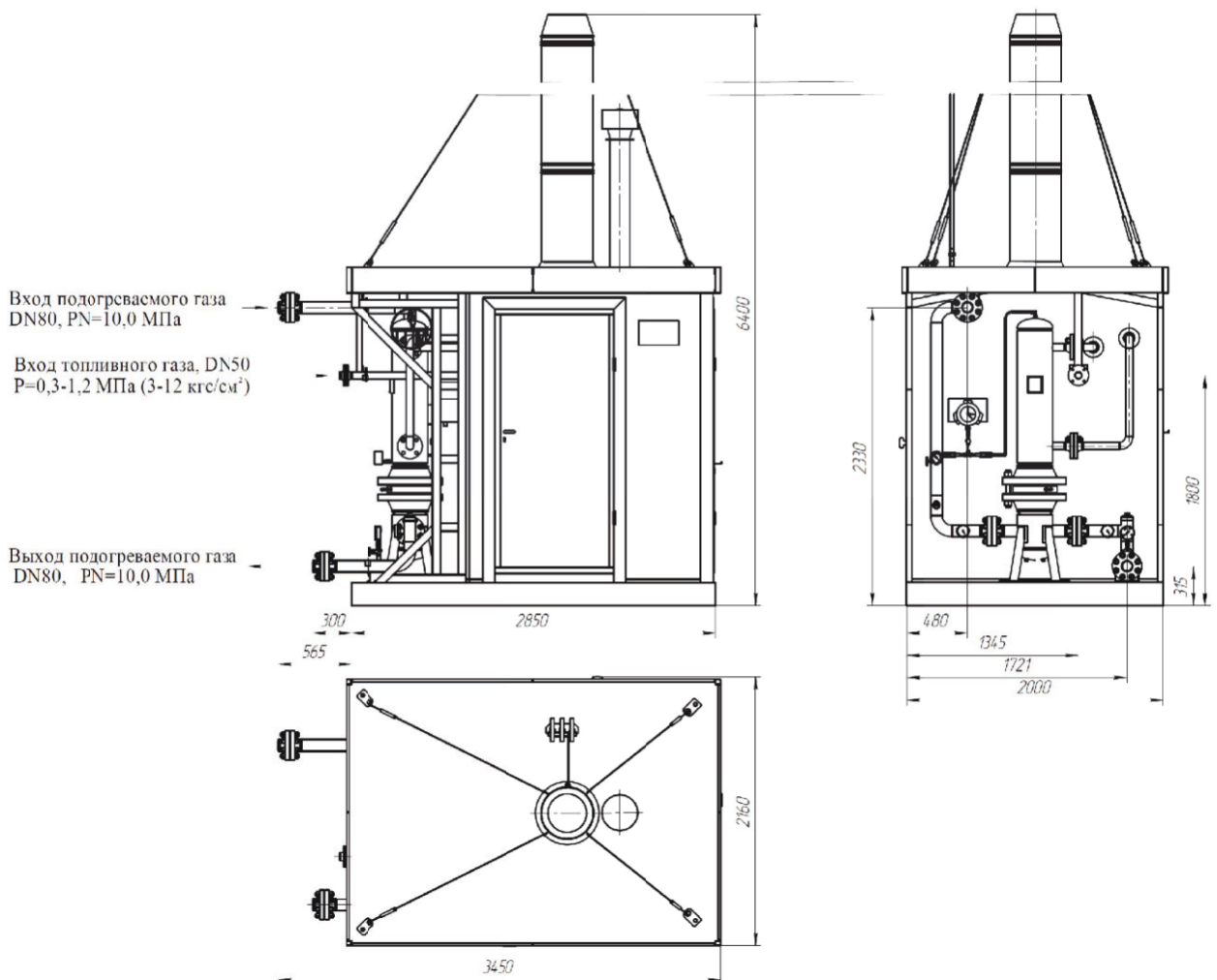


Рис. 2. Схема компоновки блока подогрева газа



Узел подогрева изготавливается на базе подогревателей газа, представляющих собой кожухотрубчатые теплообменные аппараты, в которых осуществляется нагрев газа за счет его контакта с теплоносителем. Трубный пучок подогревателя газа выполнен из стальных или нержавеющей труб. Количество и тип подогревателей газа устанавливается исходя из значения температуры газа, до которой необходимо подогреть газ перед дросселированием. Узел оснащается всеми необходимыми приборами КИП и А согласно нормативной и отраслевой документации РФ. Подогрев теплоносителя происходит с помощью промышленных газовых котлов производства ведущих зарубежных и отечественных изготовителей.

Подогрев теплоносителей осуществляется с помощью водогрейного котла, нагрев которого осуществляется при помощи пяти дискретных горелок. Теплоноситель (вода) нагревается до 100–115 °С и подается в теплообменник, где осуществляется передача тепла нагреваемой среде – газу. Затем охлажденный теплоноситель из обратного трубопровода подается на вход водогрейного котла, где цикл повторяется [2].

Значительная проблема блока подогрева газа данной компоновки заключается в малой площади соприкосновения теплообменников с трубой газопровода, а также в дискретности включения газовых горелок, что решается подключением температурных датчиков и внедрении их в общую систему автоматизации.

Для решения проблемы теплообменников было принято решение уменьшить диаметр теплоносителей и увеличить их количество. Исходная площадь соприкосновения была:

$$F = \pi L \frac{d_n + d_{вн}}{2},$$

где  $F$  – площадь соприкосновения,  $L$  – длина стенки трубки (м),  $d_n$  – наружный диаметр стенки трубки,  $d_{вн}$  – внутренний диаметр цилиндрической трубки.

$$F = \pi L \frac{d_n + d_{вн}}{2} = \pi \cdot 1100 \frac{80 + 78}{2} = 3456 \text{ мм}^2.$$

Тогда тепловой поток в поверхностном теплообменнике

$$Q = KF\Delta t_{ср},$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи,  $\Delta t_{ср}$  – средняя разность температур горячего и холодного теплоносителей [4].

Коэффициент теплообменников рассчитывается по формуле

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{г}} + \frac{\delta}{\lambda_{м}} + \frac{1}{\alpha_{пт}}},$$

где  $\alpha_{г}$ ,  $\alpha_{пт}$  – коэффициент теплоотдачи со стороны подогреваемого газа и промежуточного теплоносителя,  $\delta$  – толщина стенки теплообменной трубы, м;  $\lambda_{м}$  – коэффициент теплопроводности материала теплообменной трубы [5].

В качестве базового варианта принимаем: в трубное пространство подается типовой теплоноситель (вода), а в межтрубное пространство – природный газ. Значение коэффициента  $\alpha_{г}$  составляет приблизительно от 1500 до 2000 и существенно образом повлиять на него не представляется возможным. Термическое сопротивление стенки  $\delta/\lambda_{м}$  практически постоянная величина. Очевидно, что основное влияние на величину оказывает коэффициент  $\alpha_{пт}$ .

Упрощенно можно считать, что основная теплоотдача происходит в теплоносителях путем передачи тепла от поверхности трубок газу. При этом  $\alpha_{пт} = 500 \div 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ,  $K = 400 \div 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ .

В разное время года в Волгоградской области  $\Delta t_{ср} = 82 \div 140 \text{ °С}$ . Тогда тепловой поток одной трубки равняется

$$Q = KF\Delta t_{ср} = 500 \cdot 0,003456 \cdot (83 \div 140) = 143 \div 241 \text{ Вт},$$

Теплоносители в блоке подогрева устанавливаются в количестве 3 шт ( $Q = 429 \div 723 \text{ Вт}$ ), однако даже таким образом газ не соприкасается с большей частью нагретой воды, из чего следует, что большая часть тепла не передается более холодному теплоносителю (природному газу), а возвращается вместе с водой обратно в котел.

Принимая во внимание все эти параметры, было принято решение об уменьшении диаметра теплоносителей и увеличении их количества до 5-6 трубок. Таким образом, общий тепловой поток станет  $Q = 358 \div 604 \text{ Вт}$ , что позволит достичь меньших потерь тепла при неизменном давлении в трубках нагревателя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АГРС «Урюпинск». Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Сети связи. Раздел 5. – Волгоград: ОАО «Газпром Трансгаз Волгоград», 2013. – 193 с.
2. Григорян, А. Х. Разработка метода повышения эффективности эксплуатации газораспределительных станций / А. Х. Григорян // Газовая промышленность. – Ереван, 2020. – № 1 (795). – С. 88–91.



3. ГРС «Громославка». Проектная документация. Раздел 4. Здания, строения и сооружения, входящие в инфраструктуру линейного объекта. Автоматизация технологических процессов, телемеханизация. Метрологическое обеспечение. – Москва: ОАО «Газпром», 2012. – 93 с.

4. Калишук, Д. Г. Процессы и аппараты химической технологии : учеб.-метод. пособие для студентов специальностей 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 02 «Хи-

мическая технология органических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств», 1-48 02 01 «Биотехнология» / Д. Г. Калишук, Н. П. Саевич, А. И. Вилькоцкий. – Минск : БГТУ, 2011. – 426 с.

5. Хворостян, П. В. Разработка газоводяных теплообменников гпм-тГ для газораспределительных станций / П. В. Хворостян // Вестник Газпроммаша. – Саратов, 2010. – № 4. – С. 79–85.

УДК: 004.9: 627.86

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-62-65

*П. И. Каландаров, А. М. Назарий*

### АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ SCADA НА КАНАЛЕ БУСТОН

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

E-mail: eest\_uz@mail.ru

В статье рассмотрены различные варианты концепции построения более простой системы SCADA на канале Бустон и сравнительный анализ выбора наиболее подходящего для системы управления каналом Бустон, согласно проекту «Улучшения управления водными ресурсами в Южном Каракалпакстане».

*Ключевые слова:* диспетчерское управление, контроль, канал, водные ресурсы, регулирование, расход воды, сооружение.

*P. I. Kalandarov, A. M. Nazariy*

### ANALYSIS OF THE SCADA DISPATCH CONTROL AND MONITORING SYSTEM ON THE BUSTON CHANNEL

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers

The article considers various variants of the concept of building a simpler SCADA system on the Buston Canal and conducts a comparative analysis to select the most suitable one for the Buston Canal management system, according to the project "Improving water Resources Management in South Karakalpakstan".

*Keywords:* dispatching control, control, channel, water resources, regulation, water consumption, construction.

#### Введение

Южный Каракалпакстан расположен к западу от Узбекистана возле бассейна Аральского моря. Основной задачей водорегулирующих сооружений на Магистральном канале является поддержание необходимого командного уровня

в верхнем бьефе и регулирование расходов в отводящих каналах. Управление такими сооружениями предполагается проводить из диспетчерского пункта, расположенного рядом с сооружением (рис. 1).

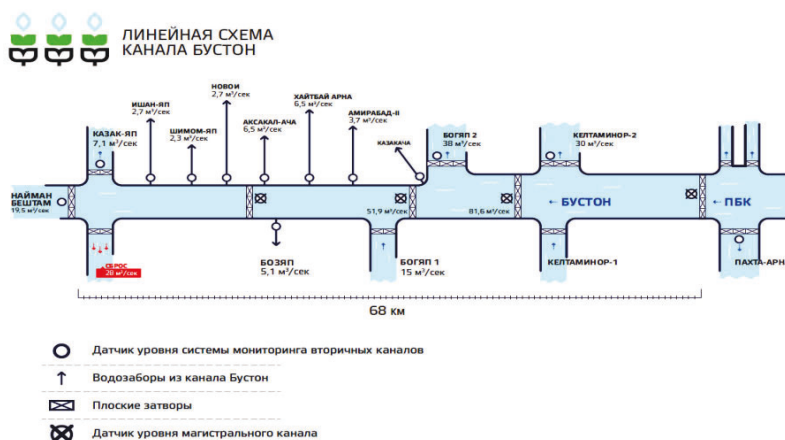


Рис. 1. Схема построения одной из локальных систем диспетчерского управления и контроля, водорегулирующего сооружения Кельтаминор

### Постановка задачи

Основная задача данной статьи – показать сравнительный анализ выбора наиболее подходящего для системы управления каналом Бустон системы SCADA, согласно разработанной группой реализации проекта «Улучшения управления водными ресурсами в Южном Каракалпакстан». Проектная зона охватывает площадь порядка 100000 га [1], строительство и реконструкция системы каналов протяженностью 476,1 км, ГТС в количестве 260 шт и установки системы автоматического дистанционного контроля и сбора данных «SCADA» на каналах «Бустон» и на вторичных каналах [2].

### Анализ результатов и примеры

Водорегулирующее сооружение содержит пять плоских затворов на Магистральном канале Бустон, три плоских затвора на водозаборе Кельтаминор 2, два плоских затвора на подводном канале Кельтаминор 1.

На всех затворах установлены датчики положения затворов. Измерение уровней воды

осуществляется ультразвуковыми датчиками, которые установлены в нижних и верхних бьефах сооружения.

Управление электроприводами затворов осуществляется программируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Информационный обмен между ПЛК, датчиками уровня и положения затвора и оборудованием диспетчерского пункта должно осуществляться по кабельным линиям связи. Прием и передача данных осуществляется через стандартный последовательный интерфейс RS-485 в протоколе MODBUS.

Измеренные с помощью соответствующих датчиков с выходным сигналом RS-485 параметры уровня воды, положения затворов передаются по общей линии связи в компьютер диспетчерского пункта через конвертор, преобразующий интерфейс RS-485 в последовательный интерфейс USB и сохраняются в базе данных, при программном обеспечении система может работать в автоматическом режиме, без участия человека.

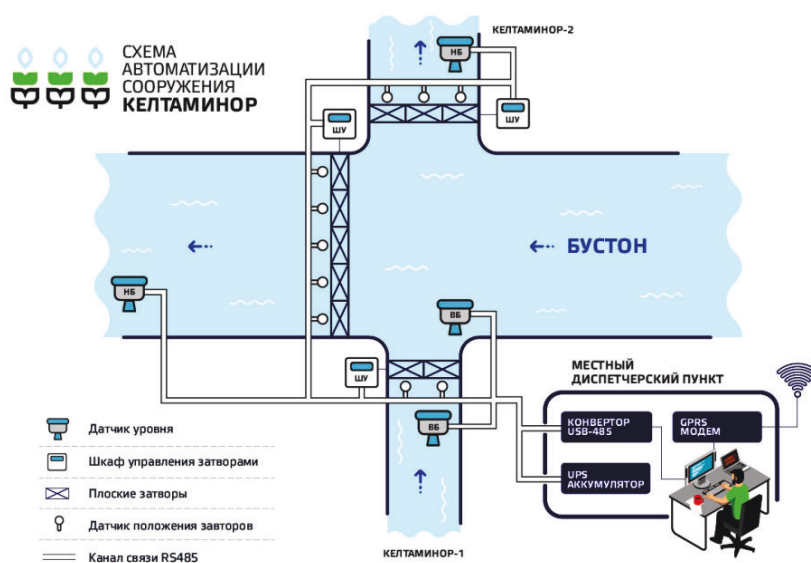


Рис. 2. Пример схемы построения локальной системы диспетчерского управления и контроля

Средства автоматического измерения положения затворов и уровней воды, входящие в состав местных диспетчерских пунктов вододелительных сооружений (рис. 2), осуществляют по запросу компьютера местного диспетчерского пункта измерения и передают результаты измерений по каналам проводной связи.

Результаты автоматической регистрации, поступающие в компьютер соответствующего местного диспетчерского пункта, анализируются на достоверность и затем заносятся в базу

первичных измерений, результаты измерений преобразуются в значения уровня и расхода по сооружению.

Диспетчер местного диспетчерского пункта по результатам контроля положения затворов имеет возможность установить дистанционно новые положения затворов, провести цикл измерений откорректированных параметров водоподдачи, осуществить установку новых положений затворов и т. д.

Данные регистрации параметров из базы

данных местных диспетчерских пунктов по запросу диспетчера Центрального диспетчерского пункта по каналам сотовой связи поступают в базу данных верхнего уровня.

На основании информации базы данных верхнего уровня осуществляется отображение параметров процессов водоподачи по системе в

целом. Диспетчер Центрального диспетчерского пункта передает на местные диспетчерские пункты откорректированные уставки по расходам на водозаборных сооружениях вододелительных узлов. Состав информационных потоков для первого варианта построения системы SCADA представлен на рис. 3.

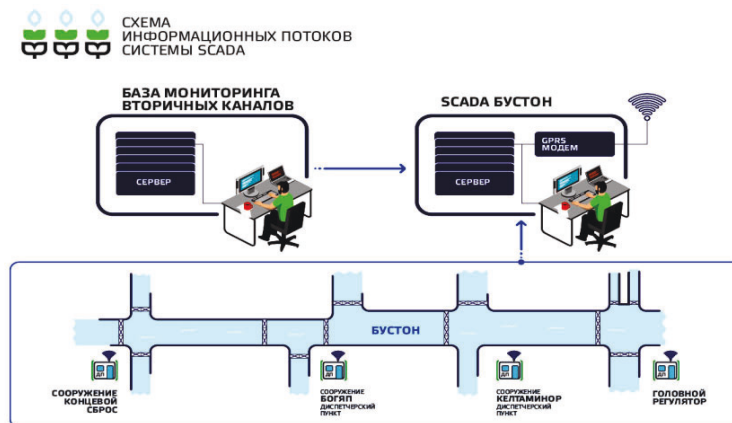


Рис. 3. Схема информационных потоков

### Обсуждение

Рассмотрим преимущества первого варианта построения системы SCADA.

**Вариант 1.** В Центральном диспетчерском пункте системы имеется абсолютно полная информация о состоянии технологического процесса водоподачи по всей оросительной системе. В Центральном диспетчерском пункте системы имеется информация о состоянии технологического оборудования. У диспетчера оросительной системы имеется возможность оперативного дистанционного изменения режимов работы сооружений.

**Вариант 2.** Второй вариант построения системы SCADA представляет собой систему мониторинга уровней воды по участкам магистрального канала Бустон. Основой функционирования данного варианта является наличие диспетчерских правил поддержания требуемых горизонтов воды по участкам магистрального канала для различных режимов водоподачи по водозаборным сооружениям.

Техническая структура этого варианта SCADA представлена совокупностью датчиков измерения уровней и передачи информации в Центральный диспетчерский пункт [4].

Датчики уровня устанавливаются на магистральном канале в верхних и нижних бьефах водорегулирующих сооружений. Передача информации осуществляется по каналам сотовой

связи в базу данных. Датчики, используемые в данном варианте, аналогичны применяемым для системы мониторинга вторичных каналов.

**Вариант 3.** Она представлена совокупностью датчиков измерения уровней и передачи информации в Центральный диспетчерский пункт. Датчики уровня устанавливаются на магистральном канале в верхних и нижних бьефах водорегулирующих сооружений. Передача информации осуществляется по каналам сотовой связи в базу данных. Датчики, используемые в данном варианте, аналогичны применяемым для системы мониторинга вторичных каналов. Кроме того, для информационного обмена с системой мониторинга вторичных каналов необходимы технические и программные средства передачи данных. Целесообразно использовать технические средства и способы передачи информации, аналогичные применяемым для сбора данных с датчиков уровня на каналах [5].

### Выводы

Проектом предусматривается три варианта построения системы SCADA для канала Бустон, которые целесообразно реализовать для условий Южного Каракалпакстана.

**1. Классическая система SCADA,** в состав которой входят 4 локальные системы диспетчерского (операторского) управления для крупнейших вододелительных узлов. Результирующие показатели забора и распределения водных

ресурсов по каждой локальной системе и поступающие в Центральный диспетчерский пункт канала Бустон. Туда же из базы данных Центрального диспетчерского пункта контроля работы вторичных каналов поступают данные по водозаборам в сеть вторичных каналов. Из Центрального диспетчерского пункта системы SCADA канала Бустон до локальных диспетчерских пунктов доводятся уставки по водоподаче на предстоящую декаду или пятидневку.

**2. Мониторинг потока только в канале Бустон**, предполагает организацию дистанционного автоматизированного контроля уровня режима работы канала по всем вододелительным сооружениям.

**3. Интегрированный мониторинг** потока с системой вторичного канала, интегрированный с системой мониторинга первичных каналов, предполагает организацию дистанционного автоматизированного контроля уровня режима работы канала по всем вододелительным сооружениям и автоматизированный мониторинг водоподачи для всех водозаборных каналов.

Сравнительный анализ перечисленных вариантов построения системы SCADA будет осуществляться по значениям следующих характеристик построения и функционирования для каждого из вариантов.

- Минимальные затраты на создание системы.
- Простота эксплуатации, минимальные эксплуатационные расходы.
- Высокая надежность системы.
- Обеспечение дистанционного мониторинга ключевых параметров водоподачи.
- Возможность интеграции с системой контроля вторичных каналов.

**Рекомендации.** Принятая система критериев оценки вариантов построения системы SCADA является разнонаправленной.

Вариант 1 предоставляет наиболее широкий набор реализуемых функций, обеспечивает сбор и передачу в Центральный диспетчерский пункт наибольшего числа параметров состояния канала и позволяет наиболее полно отобразить показатели выполнения требований в водоподаче по водозаборам из магистрального канала.

Вариант 2 является наиболее затратным, имеет наибольшие требования к квалификации обслуживающего персонала, имеет наибольшую оценку сложности эксплуатации.

Вариант 3 является предпочтительным построения системы SCADA. Он является простым в эксплуатации, достаточно эффективным и доступным средством реализации контроля процессов водоподачи по оросительной системе канала Бустон.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Всемирный банк начинает новые проекты в Узбекистане. [Электронный ресурс]: <https://www.gazeta.uz/ru/2014/06/13/wb/> (дата запроса: 21.02.2021).
2. Разработка проектов по управлению водными ресурсами в Республике Каракалпакстан и в зоне Приаралья. [Электронный ресурс]: <https://uzgip.uz/wp-content/uploads/2019/10/buklet.pdf> (дата запроса: 21.02.2021).
3. Каландров, П. И. Программно-техническая реализация задач повышения достоверности измерительной информации / П. И. Каландров, Б. М. Темирбекова // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия: Приборостроение. – 2012. – № 43. – С. 126–133.
4. Matyakubov, B. “Recommendations for improving the reliability of hydraulic structures in the on-farm network” / B. Matyakubov, K. Isabaev, D. Yulchiyev, S. Azizov // Journal of Critical Reviews, ISSN- 2394-5125, Volume 7, Issue 5. - 2020. - PP. 376 - 379.
5. Kalandarov, P. I. Analysis of hydrothermal features of grain RF instrument desulphurization of moisture control. // P. I. Kalandarov, Z. M. Mukimov, O. S. Logunova. Tashkent state technical university named after Islam Karimov. Technical science and innovation. № 1. – 2020. – PP. 117–122.

УДК 62-529

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-66-68

*Н. И. Лебедь, И. В. Волков, М. Б. Лебедь, Я. В. Калинин***МУЛЬТИСЕКЦИОННАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ УСКОРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: nik8872@yandex.ru

Приводится анализ существующих технических средств для выращивания растений в регулируемых условиях искусственного климата. Обосновывается концепция мультисекционной климатической камеры, предлагаются варианты конструктивного исполнения, а также структурная схема автоматизированного управления.

*Ключевые слова:* климатическая схема, автоматизированная система, регулируемые условия, искусственный климат, автоматизация сельского хозяйства.

*N. I. Lebed, I. V. Volkov, M. B. Lebed, Ya. V. Kalinin***MULTISECTIONAL CLIMATE CHAMBER FOR ACCELERATED PRODUCTION  
OF CULTURAL PLANTS UNDER CONTROLLED PARAMETERS****Volgograd State Technical University**

The analysis of existing technical means for growing plants in controlled conditions of artificial climate is given. The concept of a multi-section climatic chamber is substantiated, design options are proposed, as well as a block diagram of automated control.

*Keywords:* climatic scheme, automated system, controlled conditions, artificial climate, agricultural automation.

**Введение**

Получения оздоровленных растений, обеспечивающих высокую биопродуктивность, в короткие сроки возможно с применением оптимальных условий интенсивности освещения, влажности, температуры как на стадии посадки в культуру *in vitro*, так и дальнейшей адаптации в естественном в грунте [1], [2].

В серийном производстве из отечественного оборудования можно также отметить камеру климатическую КС-200, а из зарубежного – камеру «Panasonic» [3]. При этом все указанные камеры выполняют одни и те же функции: регулируют температуру, влажность (дополнительная опция), освещение, отличаясь только наличием автоматики в управлении, что в разы увеличивают их цену. Так, стоимость КС-200 составляет более 300 тыс. руб., а импортных MLR-352H, Panasonic – приблизительно 1,5 млн. руб. (таблица). Указанное выше делает затратным проведение качественных комплексных исследований на базе научных бюджетных предприятий и образовательных учреждениях. Кроме этого, названные серийные климатические камеры являются односекционными и реализуют внутри себя единые климатические факторы для всего своего рабочего объ-

ема. Из этого следует, что существующие зарубежные и отечественные климатические камеры нуждаются в глубокой модернизации и не лишены недостатков, что ограничивает их применение в исследовательских целях. Поэтому разработка мультисекционной климатической камеры, реализующей различные показатели микроклимата в пределах каждой секции актуальна и имеет важное народнохозяйственное значение [4].

Следует отметить серийное производство аналогов климатических камер – гроубоксы, выпускающиеся как в России и за рубежом. Однако такое оборудование может быть использовано только для нестерильных условий – при выращивании растений на грунте, что вносит ограничения для их применения в полноценной клеточной биологии.

Отсюда следует, что существующие зарубежные и отечественные климатические камеры нуждаются в глубокой модернизации и не лишены недостатков, что ограничивает их применение в исследовательских целях. Поэтому разработка многосекционных климатических камер, реализующих различные показатели микроклимата в пределах каждой секции актуальна и имеет важное народнохозяйственное значение.



**Преимущества предлагаемого устройства перед существующими аналогами**

| Технико-экономические показатели | Наименования аналогов   |   | Предлагаемое устройство (для 10 секций)   | В чем проявляются новые качества предлагаемого устройства сравнению с аналогами  |
|----------------------------------|---|---|---|--|
|                                  | MLR-352H, Panasonic   | КС-200 (Россия)   |   |  |
| Количество секций                | 1   | 1   | 10  | Наличие нескольких независимых секций обеспечивает возможность одновременной установки различных вариантов климатических условий |
| Комплексная автоматизация        | Программирование с помощью панели управления, возможность передачи данных на ПК | Возможность вывода на ЭВМ текущих значений температуры и состояния «ДЕНЬ», «НОЧЬ» | Микропроцессорное управление с возможностью удаленного управления и просмотра параметров микроклимата | Возможность удаленного управления, программирование которых возможно исключительно на панели управления устройства               |
| Уровень стерильности             | Принудительная вентиляция; Нет функции обеззараживания воздуха                  | Принудительная вентиляция; Нет функции обеззараживания воздуха                    | Принудительная вентиляция. Обеззараживание воздуха по технологии ZeroOzone                            | Наличие технологии обеззараживания воздуха позволяет создать более стерильные условия для проращивания растений invitro          |
| Стоимость, руб.                  | от 1556000  | от 343850   | 380 000 (себестоимость)   | Сочетание новых технических характеристик и себестоимости устройства делают его конкурентноспособным                             |

**Концепция мультисекционной климатической камеры и обоснование схемы ее системы управления**

Предлагается концепция мультисекционной климатической камеры (рис. 1), позволяющей реализовывать внутри себя одновременно до 10 различных сочетаний климатических факто-

ров (температура и влажность воздуха, спектр и интенсивность освещения, уровень концентрации остаточного озона, уровень фильтрации и инфильтрации воздуха, степень фильтрации воздуха и др.), что делает ее незаменимой при проведении моделирования биологических систем и на производстве.

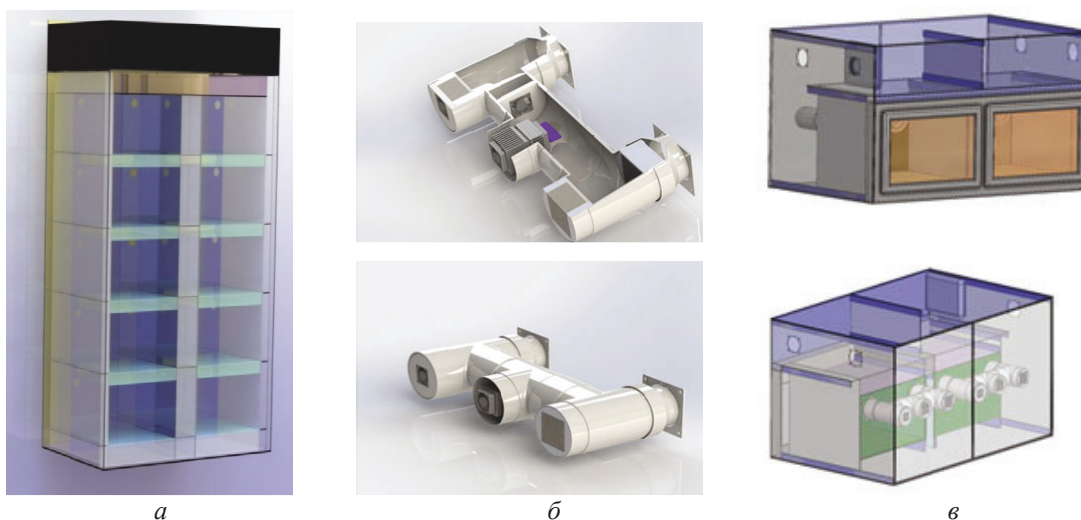


Рис. 1. 3D модель мультисекционной климатической камеры: а – мультисекционная климатическая камера (десятисекционное исполнение), общий вид; б – климатический модуль, общий вид; в – мультисекционная климатическая камера (двухсекционное исполнение), общий вид

Для обеспечения заявленных возможностей климатической камеры (для двухсекционного исполнения) была разработана структурная схема системы управления (рис. 2), учитывающая следующий перечень возможностей в регулируемом объеме:

- управление концентрацией озона;
- управление скоростью рециркуляции воздуха;
- управление температурой воздуха;

– косвенный анализ температурного распределения;

– управление освещенностью и спектром освещенности;

– возможность защищенного удаленного on-line просмотра и управления системой посредством мобильных приложений.

– возможность хранения большого массива данных климатических и регулирующих параметров сроком до 5 лет с частотой дискретизации не более 5 минут.

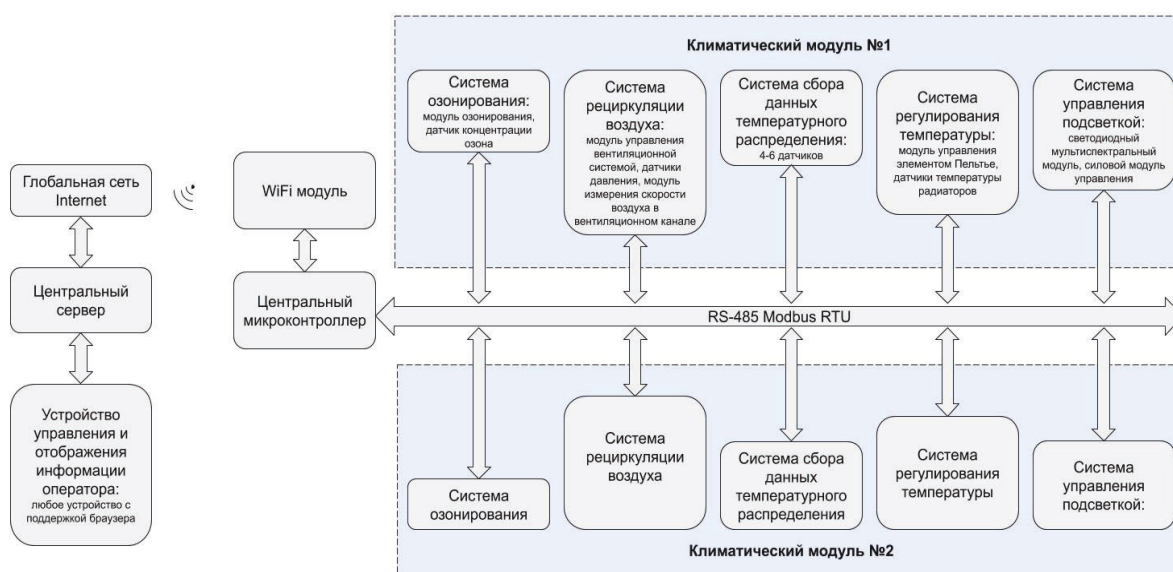


Рис. 2. Структурная схема системы управления мультисекционной климатической камеры (для двухсекционного исполнения)

### Результаты и их обсуждение

Применение обработки поступающего воздуха посредством озона в совокупности с полной изоляцией секций друг от друга и от внешней среды позволит достичь необходимого высокого уровня биологической чистоты.

Предлагаемое устройство обеспечивает широкий спектр климатических условий, а также их комбинаций внутри одного устройства, технологичности их реализации при произрастании сельскохозяйственных культур в климатической камере и может быть легко реализовано в сельскохозяйственном производстве при селекции растений [5] и для других целей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедь, М. Б. Исследование эффективности различных способов стерилизации эксплантов картофеля при микроклональном размножении / М. Б. Лебедь,

Ю. В. Берестнева, И. В. Волков, К. Р. Бикметова, Н. И. Лебедь // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 9. – С. 26–30.

2. Лебедь, Н. И. Автоматизированная климатическая камера для выращивания растений / Н. И. Лебедь, И. В. Волков, А. В. Кузнецов, Н. В. Федорова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (236) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 68–70.

3. Лабораторное оборудование и приборы. Официальный сайт ДИА-М [Электронный ресурс]: интернет магазин. – Режим доступа: <https://www.dia-m.ru/catalog/lab/kamery-rosta/> (дата обращения: 12.02.21).

4. Пат. 196200 Российская Федерация, МПК А01G 9/24. Климатическая камера для выращивания растений / Н. И. Лебедь и др.; заявитель и патентообладатель ФНЦ агроэкологии РАН. № 2019124638; заявл. 31.07.2019; опубл. 20.02.2020, Бюл. № 5

5. Солонкин, А. В. Стратегия селекции вишни и сливы для создания сортов в Нижнем Поволжье, возделываемых по современным технологиям : дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук: 06.01.05 / Солонкин Андрей Валерьевич. – Волгоград, 2018. – 349 с.

УДК 004.032.26

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-69-71

*А. И. Репников, Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик***РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Разработана нейронная сеть для системы водоснабжения. Собрана обучающая выборка и загружена в нейронную сеть. Разработан и описан алгоритм работы нейронной сети. Построенная нейронная сеть обеспечивает защиту насосного оборудования от явлений кавитации.

*Ключевые слова:* насос; кавитация; нейронная сеть; обучающая выборка.

*A. I. Repnikov, Yu. P. Serdobintsev, M. P. Kukhtik***DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK FOR DETERMINING THE CAVITATION STOCK OF PUMPING UNITS****Volgograd State Technical University**

An automated emergency prevention system for the water supply system based on a neural network has been developed. The training sample is collected and loaded into the neural network. The algorithm of the neural network is developed and described. The constructed neural network protects the pumping equipment from cavitation.

*Keywords:* pump; cavitation; neural network; learning sample.

В настоящее время к системам водоснабжения предъявляются высокие требования по обеспечению надежности и долговечности. Основными исполнительными механизмами в этих системах являются насосные агрегаты, которые непосредственно осуществляют подачу воды.

Как и все механизмы и машины, насосные агрегаты и их основные части подвержены износу, возникающему по ряду причин. Особенно опасной является кавитация, которая может возникнуть как в рабочем колесе, так и в других механизмах, таких как направляющий аппарат и спираль. Вследствие кавитации уменьшаются коэффициент полезного действия и напор, а также происходит срыв потока и полное прекращение работы насоса.

Разработанная нейронная сеть внедрена в автоматизированную систему для того, чтобы на основе данных, полученных с насосного агрегата, предотвратить появление кавитации и предсказать, какой кавитационный запас он имеет [1].

Для построения нейронной сети была создана обучающая выборка, на основе которой сеть осуществляет свое обучение [2]. Для обучения нейросети необходимы такие показатели, как давление на входе и выходе насоса, расхода, а также значение вибрации, получаемое с датчика [3]. Кроме того, вносится предельное значение вибрации, допустимое для работы на

сосного агрегата. Согласно требованиям ГОСТ 55265.7–2012, это значение не должно превышать 4 мм/с [4].

Обучающая выборка, используемая для разрабатываемой нами нейронной сети, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Обучающая выборка

| Напор, м | Расход, м <sup>3</sup> /ч | Вибрация, мм/с |
|----------|---------------------------|----------------|
| 9,8      | 167,6                     | 4,12           |
| 9,645    | 160,89                    | 4,076          |
| 9        | 152,0                     | 4,034          |
| 11       | 175,45                    | 4,5            |
| 16       | 185,0                     | 5,1            |
| 7,965    | 134,76                    | 2,45           |
| 7,15     | 127,74                    | 2,24           |
| 6,87     | 121,987                   | 2,11           |
| 6,123    | 116,34                    | 1,875          |
| 6        | 109,34                    | 1,64           |

Как видно из обучающей выборки, входами нейронной сети являются напор, расход и вибрация. Выходом нейронной сети будет значение NPSH, из которого будет вычисляться значение кавитационного запаса.

Структура нейронной сети показана на рис. 1.

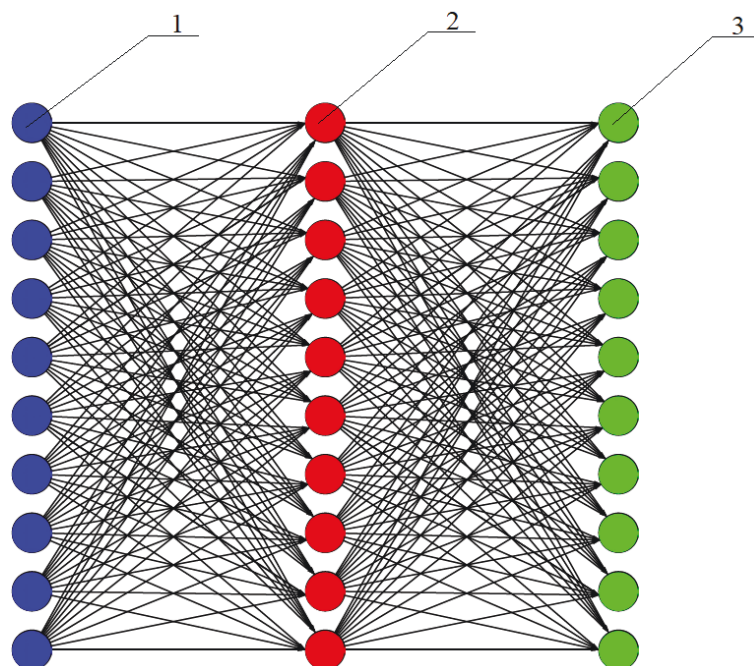


Рис. 1. Структура нейронной сети:  
1 – входной нейрон; 2 – скрытый нейрон; 3 – выходной нейрон

Входной нейрон 1 представляет собой входные данные обучающей выборки, скрытый нейрон 2 – это нейрон, выполняющий математические операции над входными данными, а также рассчитывающий кавитационный запас системы. Выходной нейрон 3 представляет собой значение NPSH, помогающее вычислять кавитационный запас насосного агрегата [5]. NPSH представляет собой величину подпора насоса, которая необходима для работы насоса в нормальной точке без кавитации.

Алгоритм работы нейронной сети следующий: перед началом работы в систему вносятся номинальные точки расхода и NPSH, взятые из паспорта насоса (рис. 2).

Затем с интервалом в пять секунд в обучающую выборку в режиме реального времени подгружаются новые значения данных, поступающих с датчиков [6]. После этого нейронная сеть вычисляет текущее значение NPSH, после чего нейронная сеть сравнивает полученное значение с номинальным в той рабочей точке, в которой работает насосный агрегат, и вычисляет оставшийся кавитационный запас по следующей формуле:

$$H_{kav} = H_{act} - H_{th},$$

где  $H_{kav}$  – кавитационный запас насосного агрегата;  $H_{act}$  – текущее значение NPSH;  $H_{th}$  – номинальное значение NPSH.

Далее нейронная сеть строит график теоретической работы насоса, получаемый из его

```

1      (* NPSH насоса *)
2
3      npsH[1] = 3.85
4      npsH[2] = 3.65
5      npsH[3] = 3.5
6      npsH[4] = 3.3
7      npsH[5] = 3.25
8      npsH[6] = 3.1
9      npsH[7] = 3.05
10     npsH[8] = 3.2
11     npsH[9] = 3.6
12     npsH[10] = 4.4
13
14     (* Расход с расходомера *)
15
16     flow[1] = 20.0
17     flow[2] = 40.0
18     flow[3] = 60.0
19     flow[4] = 80.0
20     flow[5] = 90.0
21     flow[6] = 100.0
22     flow[7] = 130.0
23     flow[8] = 150.0
24     flow[9] = 170.0
25     flow[10] = 190.0
26

```

Рис. 2. Номинальные точки насосного агрегата

паспортных данных, и фактический график работы, получаемый из обучающей выборки. Затем нейросеть строит на графике предполагаемую рабочую точку, в которой находится работа насосного агрегата в настоящее время, а также выдает значение кавитационного запаса. Пример показан на рис. 3; данные, зафиксированные нейронной сетью – в табл. 2.



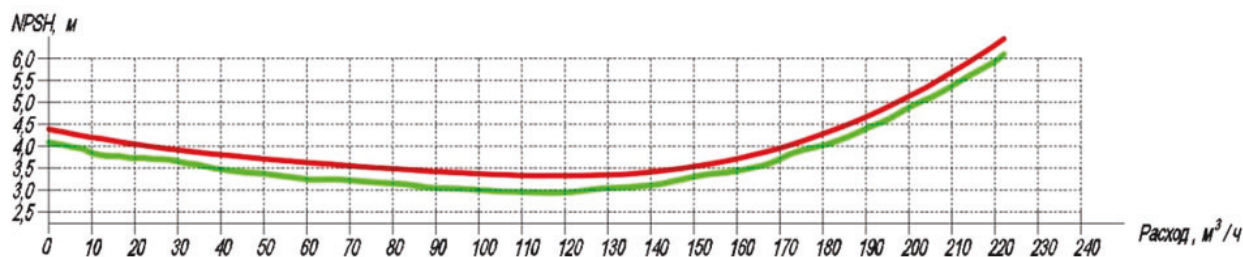


Рис. 3. График работы насоса

Таблица 2

## Данные, зафиксированные нейронной сетью

| Наименования                      | Показания |
|-----------------------------------|-----------|
| Текущий напор, м                  | 9,0       |
| Текущий расход, м <sup>3</sup> /ч | 152,0     |
| Текущее значение вибрации, мм/с   | 4,034     |
| Номинальное значение NPSH, м      | 2,9       |
| Текущее значение NPSH, м          | 2,6       |
| Кавитационный запас, м            | -0,3      |

Красным цветом на рис. 3 показан номинальный график работы насоса, зеленым – текущий. На данном рисунке, который показывает работу насосной станции города Нижнего Новгорода, а также из табл. 2 можно увидеть, что для насосного агрегата не обеспечивается кавитационный запас, поскольку он отрицателен.

Разработанная нейронная сеть в составе автоматизированной системы управления позволит повысить показатели надежности системы водоснабжения и предотвратить износ оборудования из-за кавитации.

УДК 681.532.62

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-71-74

Д. В. Самойлов, А. В. Дроботов, С. С. Шемелюнас

СИСТЕМА ВЫРАВНИВАНИЯ НАТЯЖЕНИЙ ДВУХ КОНТУРОВ  
РЕМНЯ ПРИВОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КАРЕТКИ 3D ПРИНТЕРА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Danilsamoilow@yandex.ru

Рассмотрены существующие системы натяжения приводного ремня в FDM 3D принтерах. Проведен сравнительный анализ систем натяжения, который показал, что для существующих систем характерно явление несимметричности действия сил при растяжении приводного ремня. Предложена и разработана новая конструкция, представляющая собой монтируемый в 3D принтер узел выравнивая сил натяжения приводного ремня и гашения колебаний в FDM 3D принтере.

*Ключевые слова:* 3D принтер, аддитивные технологии, 3D печать, натяжение приводного ремня, гашение колебаний.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Математическое бюро. Прогнозирование на ОРЭМ. Создаем нейронную сеть для прогнозирования временного ряда [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.mbureau.ru/blog/sozdaem-neuronnuyu-set-dlya-prognirovaniya-vremennogo-tyada> (дата обращения 28.12.2020)
2. Энциклопедия АСУ ТП. Нечеткая логика, нейронные сети и генетические алгоритмы [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: [https://www.bookasutp.ru/Chapter5\\_7.aspx](https://www.bookasutp.ru/Chapter5_7.aspx) (дата обращения 02.01.2021)
3. Deep Learning [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.deeplearningbook.org/> (дата обращения 08.01.2021)
4. ГОСТ 55265.7–2012. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на не вращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные (с Поправкой). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200097430> (дата обращения: 21.01.2021)
5. Новоженин, М. Б. Автоматизированная система контроля и управления насосным комплексом с применением прецедентного подхода : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Новоженин М. Б. ; ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». – Уфа, 2020.
6. Инструкция: Создание нейронной сети без навыков программирования [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://vc.ru/selectel/41002-instrukciya-sozdanie-neuronnoy-seti-bez-navykov-programmirovaniya> (дата обращения 23.01.2021)



*D. V. Samoylov, A. V. Drobotov, S. S. Shemelyunas*

## SYSTEM OF TENSION ALIGNMENT OF TWO CIRCUITS OF THE DRIVE BELT OF THE MOVEMENT OF THE 3D PRINTER CARRIAGE

Volgograd State Technical University

Existing drive belt tensioning systems in FDM 3D printers are considered. A comparative analysis of tensioning systems has been carried out, which has shown that the existing systems are characterized by the phenomenon of asymmetry of the action of forces during the stretching of the drive belt. A new design has been proposed and developed, which is a unit mounted in a 3D printer that equalizes the forces of tension of the drive belt and damping of vibrations in an FDM 3D printer.

*Keywords:* 3D printer, additive technologies, 3D printing, drive belt tension, vibration damping.

В современном производстве все большее распространение находят аддитивные технологии. Каждый год появляются новые 3D-принтеры с различными кинематическими схемами, отличающимися друг от друга. Все эти кинематические схемы соревнуются между собой за звание лучшей, но на данный момент у каждой есть свои недостатки.

Одной из наиболее распространенных кинематических схем для коммерческого использования является схема под названием H-Bot показанная на рис. 1. Но данная схема не лишена недостатков [1]. В процессе печати головка 3D принтера, обычно достаточно массивная, постоянно совершает резкие движения из стороны в сторону. А так как она приводится в движение двигателем через ременную передачу, а ремень может растягиваться, то его можно рассматривать как пружину, и его удлинение будет пропорционально силе и его длине. Таки образом, один длинный ремень подвержен большему растяжению, чем короткий.

шение кинематической схемы принтера, а именно увеличение жесткости схемы и модернизации системы натяжения ремня [2].

В кинематической схеме H-bot существует два контура с разной силой натяжения ремня. Это часто приводит к возникновению несимметричному действию сил при печати. В частности, при печати может возникать явление маятника, когда на одно из плеч идет большая нагрузка, чем на другое. В этот момент может возникать изгиб направляющей, который как по маятнику передается от одного плеча на другое [3]. Для исключения данного недостатка необходимо использовать автоматическую систему натяжения ремней, которая будет способна в режиме реального времени контролировать натяжение. Рассмотрим существующие на данный момент системы натяжения ремней.

Одной из самых распространенных систем натяжения является система натяжения в виде волны (рис. 2)[4].

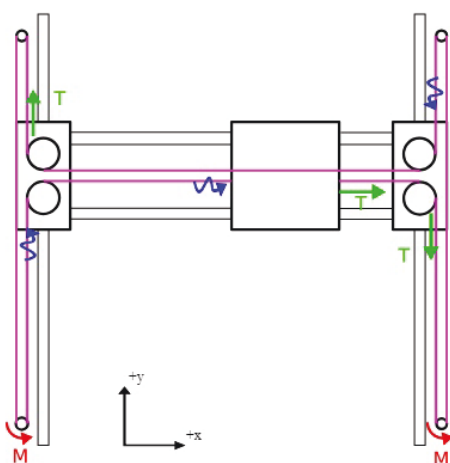


Рис. 1. Кинематическая схема H-bot

Растяжение ремня приводит к ухудшению позиционирования печатающей головки и как следствие к ухудшению качества готового изделия. Поэтому важной задачей является улуч-

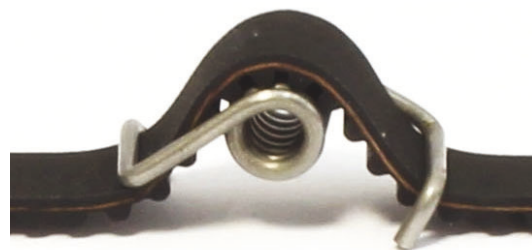


Рис. 2. Система натяжения в виде волны

Такой тип натяжителя способен выполнять натяжение ремня с одной заданной силой в зависимости от размера его выступа относительно плоскости ремня. Также, такой тип системы натяжения способен только для установления заданного натяга ремня и не исключает явления маятника печатающей головки при работе.

Также известна система натяжения ремня на основе дополнительного ролика, через который проходит приводной ремень (рис. 3) [5].

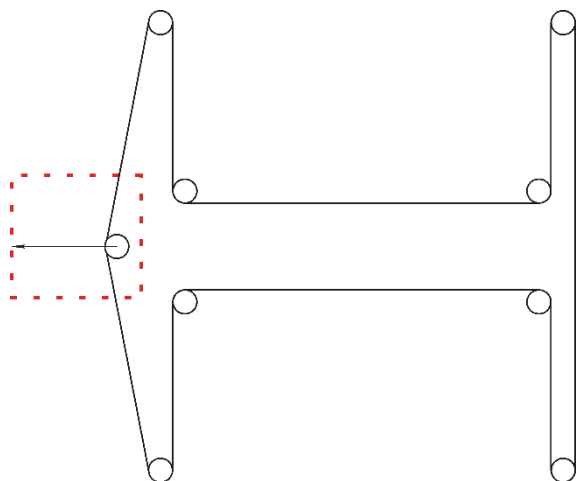


Рис. 3. Система натяжения на основе ролика

Такой тип конструкции устанавливается на раму 3D принтера. Приводной ремень проходит через ролик, натяжение ремня устанавливается поворотом винта натяжителя [6].

Данная система проста в изготовлении и использовании. Натяжение ремня регулируется плавно. Однако такой тип системы натяжения не исключает явления маятника печатающей головки при работе.

Рассмотренные выше системы натяжения приводного ремня обладают множеством достоинств, однако, они не лишены недостатков, а также все рассмотренные выше устройства не способны исключать явление маятника. Поэтому необходима разработка новой системы для повышения качества печати FDM 3D принтера за счет автоматического устранения несимметричного действия сил при печати.

Нами предложена система автоматического устранения несимметричного действия сил в FDM 3D принтере с кинематической схемой H-bot (рис. 4).

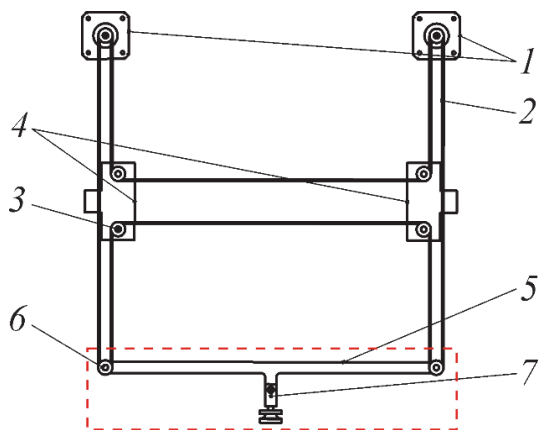


Рис. 4. Разработанная система выравнивания натяжения ремней

Кинематическая схема H-bot состоит из двух электродвигателей 1, приводного ремня 2, системы восьми шкивов 3. Шкивы печатной головки размещены на подвижных блоках 4. Предложенный нами узел состоит из рычага 5, закрепленного в двух опорах 6, а посередине шарнирно закреплен в узле натяжения ремня 7.

При возникновении неравномерности действия сил в левом и правом плече узел выравнивания сил натяжения и гашения колебаний повернется в шарнирных опорах и за счет этого натяжение ремня станет одинаковым по всей его длине [3]. На рис. 5 показан принцип работы разработанной системы в FDM 3D принтере.

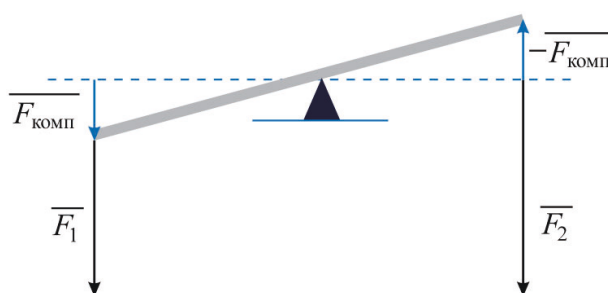


Рис. 5. Разработанная система выравнивания натяжения ремней

Также в данной конструкции предусмотрен узел установки необходимой силы натяжения ремня. Конструкция данного узла представлена на рис. 6.

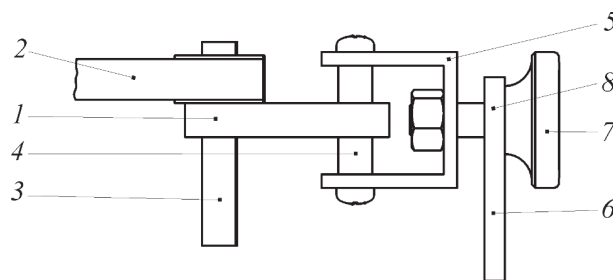


Рис. 6. Узел установки силы натяжения ремней

Узел установки силы натяжения ремня крепится с помощью шарнирной вставки 1 к середине рычага 2, который закреплен на валу 3. Шарнирная вставка 1 закреплена на штифте 4, который позволяет системе вращаться вокруг оси. Натяжение ремня происходит за счет притягивания силовой вставки 5 в виде буквы «П» к раме 3D принтера 6. Притягивание осуществляется за счет винта 7 и «барашка» 8.

Было проведено исследование существующих систем, способов и устройств натяжения

приводного ремня. На основе исследования был сделан вывод о том, что наиболее рациональным устройством натяжения является узел, состоящий из двух конструкций в виде буквы «П», где натяжение осуществляется путем притягивания одной конструкции к другой путем затягивания винта.

Был сделан вывод о том, что существующие устройства, системы и способы натяжения ремня способны лишь устанавливать заданную силу натяжения, но не способны устранять неравномерный натяг приводного ремня в контуре и неспособны устранять явление маятника при печати, когда на одно из плеч контура идет большая нагрузка, чем на другое. Для исключения данного недостатка необходимо использовать динамическую систему натяжения ремней, которая будет способна в режиме реального времени контролировать натяжение ремней и, при необходимости корректировать натяг.

Была разработана и спроектирована новая система автоматического устранения несимметричного действия сил в FDM 3D принтере при печати, которая способна устранять явление маятника при печати, и содержит в себе узел натяжения приводного ремня. Планируется дальнейшая работа по изготовлению опыт-

ного образца и испытанию его работы в FDM 3D принтере.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 3D-принтеры с разной кинематикой: сравнение, плюсы и минусы [Электронный ресурс] // TOP3DShop : офиц. сайт. – 2020. – Режим доступа : <https://top3dshop.ru/blog/types-of-fdm-3d-printer.html> (дата обращения 20.12.2020)
2. Дроботов, А. В. 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. Кинематические системы перемещения печатающей головки 3D принтера [Электронный ресурс] / И. С. Торубаров, А. А. Битюшкова, журнал «Аддитивные технологии» № 2 – 2020. – Режим доступа : <https://additiv-tech.ru/publications/kinematicheskie-sistemy-peremeshcheniya-pechatayushchey-golovki-3d-printera.html> (дата обращения 20.12.2020)
4. Ultimaker Belt Tensioner [Electronic resource] // thingiverse : official site. – 2020. – Mode of access : <https://www.thingiverse.com/thing:19892> (date of access 20.12.2020)
5. Инструкция по сборке принтера. Натяжка ремней [Электронный ресурс] // Ulti - Open Source 3d printer : офиц. сайт. – 2020. – Режим доступа : <http://ulti.tiger3dp.ru/docs/instruction-ulti-1-2-6/x-y-axes/belt-tension/> (дата обращения 20.12.2020)
6. Система автоматического натяжения ремней для линейки принтеров Fribot [Электронный ресурс] // 3Dtoday : офиц. сайт. – 2020. – Режим доступа : <https://3dtoday.ru/blogs/3dmaniack/sistema-avtomaticheskogo-natyazheniya-remney-dlya-lineyki-printerov-fribot/> (дата обращения 20.12.2020)

УДК 62-539

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-74-78

*Р. Р. Шарипов, Г. В. Котельников, И. В. Волков, А. М. Макаров*

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРНОГО УЗЛА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ АЭРОПОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ\*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: [app@vstu.ru](mailto:app@vstu.ru)

Рассматривается разработка и исследование растворного узла для автоматизированной установки аэропонтного выращивания. Представлено описание вариантов хранения маточных растворов, методы разведения маточного раствора, автоматизация процесса контроля Ph, методы селективной оценки концентрации питательных веществ по NPK, освещен ряд нерешенных ключевых вопросов, ограничивающих полную автоматизацию растворных узлов при замкнутом цикле выращивания растений.

*Ключевые слова:* маточных раствор, растворных узлов, Ph, ЕС, NPK.

*R. R. Sharipov, G. V. Kotelnikov, I. V. Volko, A. M. Makarov*

#### DEVELOPMENT AND STUDY OF SOLUTION UNIT FOR AUTOMATED AEROPONICS GROWING PLANT

Volgograd State Technical University

Research and development of a solution node of an automated plant for aeroponic growing have been considered. The paper describes the options for storing mother solutions, the methods for their dilution, automation of the Ph control process, the methods for selective assessment of the concentration of nutrients by NPK. A number of key problems that limit the full automation of solution nodes in a closed cycle of plant growing have been highlighted.

*Keywords:* mother solution, solution node, Ph, EC, NPK.

© Шарипов Р. Р., Котельников Г. В., Волков И. В., Макаров А. М., 2021.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», договор 0059063 ГУ/2020.

В настоящее время современные тенденции развития автоматизированных методов в области сельского хозяйства обеспечивают условия для активного внедрения систем с полностью автоматическим производственным циклом управления. В области растениеводства за последние 20 лет сделан огромный шаг в направлении оптимизации использования водных и земельных ресурсов в условиях закрытого грунта. Многие современные тепличные комплексы используют сейчас гидропонные технологии. Однако, эти технологии имеют ряд недостатков, а именно:

- высокий уровень отходов в виде мат с минеральной ватой;
- накопительный солевой эффект и высокая инерционность химического состава субстрата корневой зоны;
- высокий уровень энергозатрат на обеззараживание раствора при циркуляционном методе подачи раствора;
- сложности автоматизации NPK анализа, в том числе и методом селективных электродов;
- сброс отработанного солевого раствора в сточные воды в случае использования проточного метода подачи.

Новым витком гидропонной технологии с недавнего времени стала аэропонная технология. Данная технология позволяет получать урожай с минимальным уровнем затрат рабочего раствора, субстрата и энергии. При этом, скорость роста и развития растений, выращиваемых на аэропонике выше, чем на гидропонной технологии. Это объясняется тем, что корни растения получают больше кислорода воздуха при отсутствии сопротивления росту корней (растение не затрачивает собственную энергию на работу по преодолению сопротивления субстрата во время роста). Кроме того, обеспечивается высокая экономия питательных веществ в водных ресурсах за счет высокого коэффициента их использования (требуется всего лишь 20 секундного опрыскивания корней рабочим раствором в час, отсутствуют массивные маты).

Аэропоника позволяет выращивать любые культуры, располагая саженцы как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Эта особенность сделала ее крайне популярной в европейских странах в сфере декоративного цветоводства и озеленения. В России к данному виду агротехники только начинают присматриваться и используют пока исключительно в тепличном бизнесе.

В гидропонных/аэропонных технологиях существуют два типа питательных растворов: маточный – концентрированный раствор питательных солей и рабочий – разведенный до определенной концентрации и нормализованный по Ph раствор, подаваемый в корневую зону растений [1], [2], [3], [4].

Для хранения маточных растворов используются емкости хранения, входящие в состав растворного узла. Стандартная классическая схема хранения растворов – это маточный раствор А и маточный раствор Б, а также Ph корректор. Два маточных раствора используются в связи с тем, что нельзя допускать их смешивания в концентрированном виде, т. к. это приведет к выпадению осадка, смещению NPK баланса и последующему забиванию распылительных форсунок и трубопроводов. При этом, в малых концентрациях эти растворы могут быть смешаны и храниться (использоваться) в виде рабочего раствора в течение нескольких недель. Скорость химической реакции между компонентами рабочего раствора при этом минимальна.

Данный вариант организации получения рабочего раствора из компонентов А и Б с применением Ph корректора не всегда удобен. Если на предприятии имеется один растворный узел, при наличии широкого класса выращиваемых растений, возможности варьирования крайне ограничены. Вторым отрицательным аспектом является сложность подбора комплекса солей для сложного солевого состава маточных растворов А и Б, что часто требует добавления буферных компонентов для стабилизации хранения подобных концентратов, что неминуемо повышает себестоимость.

В настоящее время проводится ряд исследований по минимизации затрат данного производственного цикла с одновременным повышением степени комбинаторики получения рабочих растворов. Эти положительные эффекты достигаются методом увеличения количества используемых простых солей, с возможностью точного персонального дозирования каждой.

Данный подход имеет ряд положительных эффектов, поскольку при полном цикле выращивания, особенно в плодоносящих культурах, химический состав солей значительно отличается между фазами проращивания из семени, вегетативного развития и плодоношения. Поэтому, с позиции автоматизации существует необходимость разработки новых методов и математических моделей приготовления ра-



бочих растворов с использованием пять, шесть и более точек дозирования.

Для приготовления рабочего раствора существуют основные методы разведения маточного раствора.

Первый метод, заключается в последовательном разведении маточных растворов непосредственно в накопительной емкости с изначально очищенной водой. В настоящее время практически не используется, т.к. не обеспечивает необходимой точности дозирования, обладает низким уровнем чувствительность обрат-

ной связи и создает локальные зоны концентрации маточных растворов при разведении, что вызывает ускоренное старение рабочих растворов при хранении.

Второй метод более гибкий и обладает возможностью плавного дозирования вещества, используя метод эжекции концентрата соли с применением трубок Вентури. Схема показана на рис. 1.

Благодаря трубкам Вентури обеспечивается высокоскоростной поток, который методом эжекции смешивается с необходимыми солями.

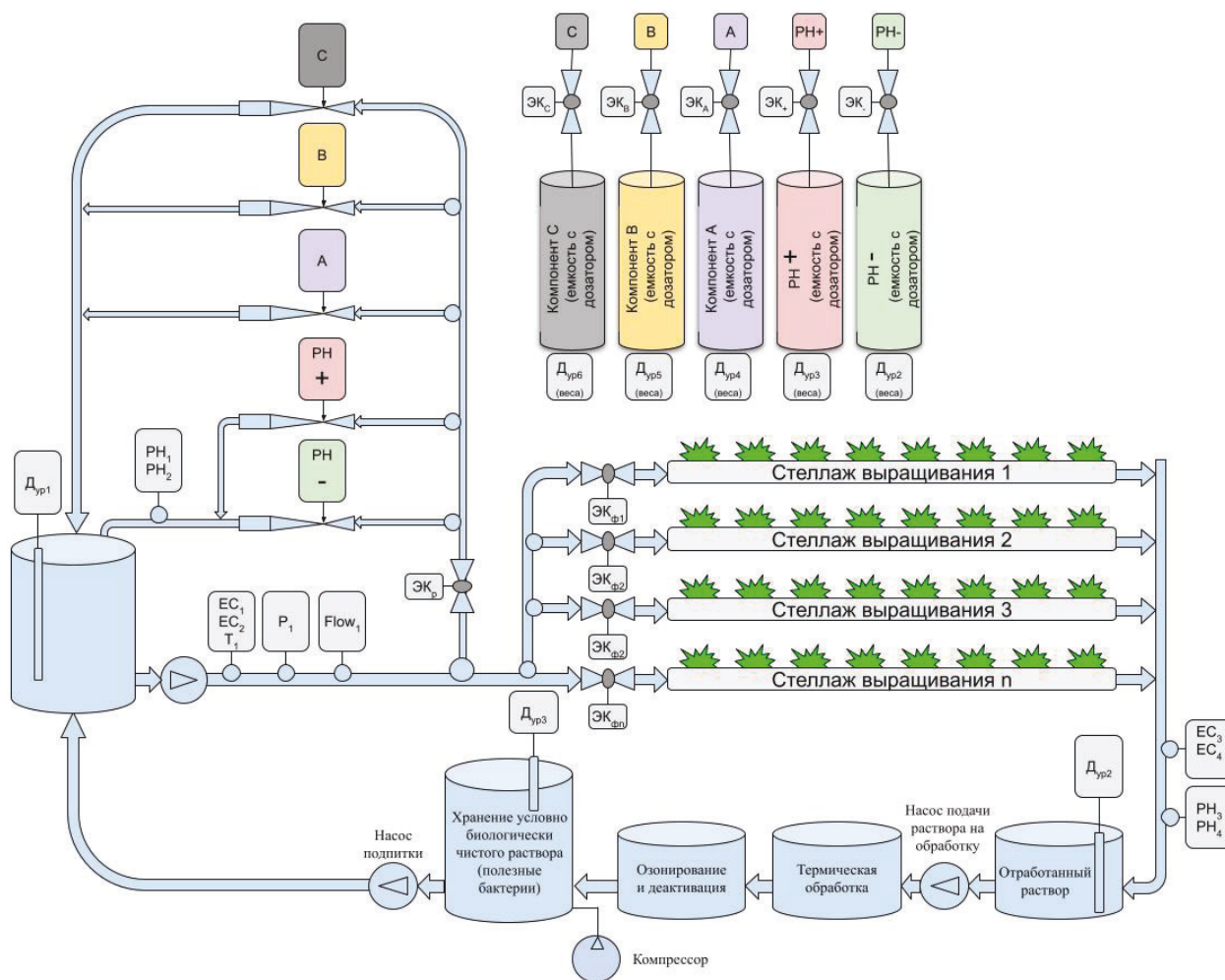


Рис. 1. Технологическая схема растворного узла с применением трубок Вентури

Преимущество данного метода в том, что эжектор может сам вытягивать с определенным стабильным потоком концентрат соли в раствор одновременно активно смешивая его с рабочим раствором.

Для повышения точности дозирования как правило перед эжектором ставятся перистальтические насосы. Они выполняют роль регулирующего (дозировющего) элемента.

Метод эжекции можно также совместно использовать с применением датчиков малого расхода [5]. Благодаря применению подобного решения обеспечивается возможность высокоточного дозирования компонентов. Этот вопрос особенно актуален при разработке компактных бытовых установок для личного использования, а также микроэлементов.

Использование предлагаемого решения, по

сравнению с имеющимися, обеспечивает повышение точности измерений малых расходов жидкости, которая достигается увеличением количества дискретных преобразований, а также значений дискретизации сигнала вследствие использования оптического метода измерений. При этом расширяется диапазон измеряемых величин малых расходов жидкости.

Выполнение измерительной плоскости внутри светопрозрачного элемента, не контактирующего с оптической системой, обеспечивает бесконтактный метод измерений, что значительно расширяет область применения датчика и позволяет использовать его для измерения малых расходов практически любых жидкостей, в том числе, в агрессивных и ядовитых средах. Использование разработанного устройства для измерения малых расходов жидкости создает условия для полной автоматизации процесса высокоточного дозирования различных жидкостей.

Следует отметить, что для автоматизации

приготовления рабочего раствора необходимо соблюдение необходимого уровня параметров электрической проводимости ЕС и кислотность Ph. На первом этапе приготовления рабочего раствора производится дозирование необходимых солей согласно технологической карте с параллельным контролем уровня ЕС, после чего осуществляется Ph коррекция. В зависимости от сочетания простых солей, используемых для приготовления рабочего раствора возможно получение раствора как с пониженным, так и с повышенным уровнем Ph. Поэтому, в случае использования простых солей для приготовления рабочего раствора необходимо наличие корректоров «Ph+» (карбонат калия) и «Ph-» (азотная кислота). Параметры ЕС и Ph измеряются с помощью соответствующих датчиков. Сигналы с датчиков обрабатываются специализированными первичными преобразователями, а затем считываются контроллером, входящим в состав системы автоматизации (рис. 2).

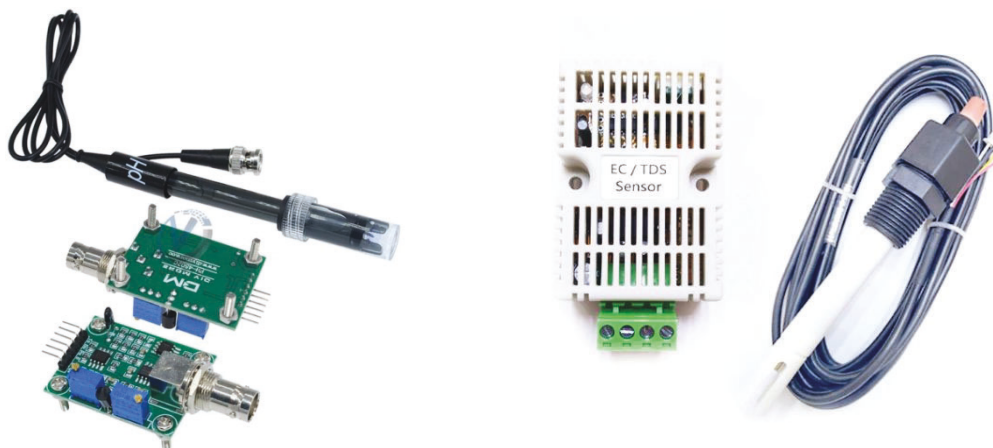


Рис. 2. Датчики Ph и ЕС с первичными преобразователями сигнала

С целью экономии водных ресурсов возможно использовать рабочий раствор повторно, однако при таком методе выращивания образуются две существенные проблемы: регулирование допустимого уровня патогенных бактерий в возвратном растворе и контроль NPK баланса.

Если первый вопрос имеет ряд решений, которые зачастую экономически выгодно использовать в странах Дальнего Востока с высокими тарифами на воду, то второй вопрос требует отдельного подхода и решается на данный момент периодическим проведением лабораторного анализа химического состава рабочего раствора методом отбора проб.

В случае циклического метода подачи рабочего раствора, даже при соблюдении всех не-

обходимых требований по обеззараживанию возвратного рабочего раствора, все же существует реальная угроза заражения растений, поэтому метод однократного применения рабочего раствора в России применяется чаще.

Основным плюсом этого метода, является минимизация опасности заражения возвратным раствором. При применении физиологических методов стерилизации среды (пастеризация, УФ обработка, озонирование) в баке хранения возвратного раствора все же будут развиваться какие-либо бактерии. Поэтому при циклическом методе подачи раствора необходимо серьезно задуматься о том, как обеззараживать патогенную микрофлору, не используя вредные для человека и окружающей среды вещества.

Также необходимо производить селективную оценку концентрации питательного вещества по NPK. Если используется проточный метод дозирования, то необходимость в этом отсутствует, т. к. NPK раствора рассчитывается по NPK калькулятору и является постоянной величиной.

При использовании циклического метода выращивания, после первого же цикла использования получается раствор с измененными параметрами, как в связи с потреблением, так и выделением в раствор веществ растением.

Единственным решением определения химического состава рабочего раствора автоматизированным методом является использование селективных электродов. Следует отметить, что применение современных электродов не обеспечивает высокого уровня селективности, поэтому требуется комплексный подход, учитывающий правильный подбор простых солей, решаемый в рамках отдельной задачи неорганической химии.

Таким образом, для создания полноценного растворного узла, а также системы обратной связи состава отработанного рабочего раствора, требуется решить комплекс вопросов, связанных как со способами дозирования, так и оптимизацией количества и вида применяемых питательных солей и селективных электродов.

Каждый вопрос, освещенный в данной статье, требует отдельного комплексного подхода с привлечением специалистов из областей автоматизации, химии, электрохимии, гидравлики, конструирования и проектирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. RU 2710195 C1, МПК B01F 1/00, Узел приготовления солевого раствора / В.П. Ануфриев, Р. Болл, Я. Болл, П. Болл; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Лортэкс Эко» (RU) – № 2011135297/05; заявл. 24.08.2011; опубл. 20.12.2011
2. Пат. RU 111454 U1, МПК B01F 1/00, Растворный узел для приготовления жидких комплексных удобрений / А. А. Вагонов; Заявитель и патентообладатель Ваганов Александр Александрович – № 2019120909; заявл. 02.07.2019; опубл. 24.12.2019
3. Пат. RU 2 038 006 C1, МПК A01G 31/02, Растворный узел для приготовления и подачи питательного раствора / А. Л. Сотняков, Л. А. Липницкий, А. Г. Цубанов; Заявитель и патентообладатель Белорусский аграрный технический университет – № 502840/15; заявл. 24.02.1992; опубл. 27.06.1995.
4. Экспериментальное исследование работ жидкостно-газового эжектора / А. В. Павлов, С. В. КАЦ // Известия ВолгГТУ : сборник науч. ст. № 1 (104) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – С. 5–8.
5. Бесконтактное измерение малых расходов жидкости / И. В. Волков, В. П. Заярный, А. М. Макаров, Н. В. Кобзев / Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (Москва) // Журнал «Измерительная техника». – 2014. – № 7. – С. 35–37.

УДК 004.422.833

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-78-82

*С. С. Шемелюнас, А. В. Дроботов, Д. В. Самойлов*

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕРВИСНЫХ ФУНКЦИЙ В FDM 3D ПРИНТЕРЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: sergey.shemelyunas@bk.ru

В статье рассматривается применение системы автоматического снятия и извлечения напечатанных изделий, а также системы контроля подачи материала в FDM 3D принтерах. Описан процесс создания программного модуля для обеспечения функционирования этих систем в программно-аппаратном комплексе 3D принтера. Описаны возможности разработанного программного модуля и способы его применения в современном аддитивном производстве.

*Ключевые слова:* 3D принтер, аддитивные технологии, снятие изделий, извлечение изделий, контроль подачи материала.

*S. S. Shemelyunas, A. V. Drobotov, D. V. Samoylov*

#### SERVICE FUNCTIONS AUTOMATION IN FDM 3D PRINTER

Volgograd State Technical University

The article discusses systems for automatic removal and retrieval of printed products, as well as control systems for material supply in FDM 3D printers. The process of the module software for ensuring the functioning of these systems in a software and hardware integrated 3D printer is described. The capabilities of the developed module and the ways of its application in modern additive manufacturing are described.

*Keywords:* 3D printer, additive technologies, product removal, product removal, material supply control.

Аддитивные технологии очень быстро развиваются в последнее время, позволяя производить в сжатые сроки широкую номенклатуру изделий с минимальными затратами материалов всего на одном станке – 3D принтере.

В виду новизны и несовершенства аддитивных технологий часто требуется участие человека в процессе печати, например при окончании печати, чтобы снять напечатанное изделие и поставить на печать новое и при засоре печатающего сопла, что приводит к браку при печати и изделие выбрасывается. На данный момент существует системы, которые позволяют снимать напечатанное изделие и контролировать процесс печати, оповещать пользователя в случае возникновения засора сопла и остановить печать. Однако данные системы имеют огромное количество недостатков. Часто данные системы создают помехи самому процессу печати [1].

Для снижения количества брака и уменьшения вовлеченности человека в процесс печати были разработаны системы автоматического снятия напечатанных изделий и контроля подачи материала для FDM 3D принтера с улучшенными характеристиками. Разработанные системы подключаются к любому стандартному FDM 3D принтеру и могут работать как совместно, так и отдельно друг от друга.

Система контроля подачи материала пред-

ставляет собой программно-аппаратный комплекс [2], встраиваемый в FDM 3D принтер, который способен динамически (во время работы) 3D принтера следить за наличием пластика в принтере, рассчитывать скорость продвижения пластика и вычислять подаваемый объем материала, сравнивая его с заданным в программе объемом, и, при необходимости делать поправки в программе печати. При отсутствии пластика в системе или при остановке его движения во время печати принтер остановит работу и подаст сигнал пользователю об этом.

После окончания печати в работу вступает второй предложенный программно-аппаратный комплекс [3], также встраиваемый в FDM 3D принтер, обеспечивающий автоматическое снятие и извлечения напечатанных изделий из рабочей камеры 3D принтера. После этого может быть произведен автоматический запуск нового процесса печати.

Для того чтобы данный программно-аппаратный комплекс правильно и точно выполнял свои функции необходима разработка программного модуля, который будет осуществлять связь разработанных систем с платой управления 3D принтера.

Функциональная схема 3D принтера с системой автоматического снятия напечатанных изделий и системой контроля подачи материала упрощенно представлены на рис. 1.

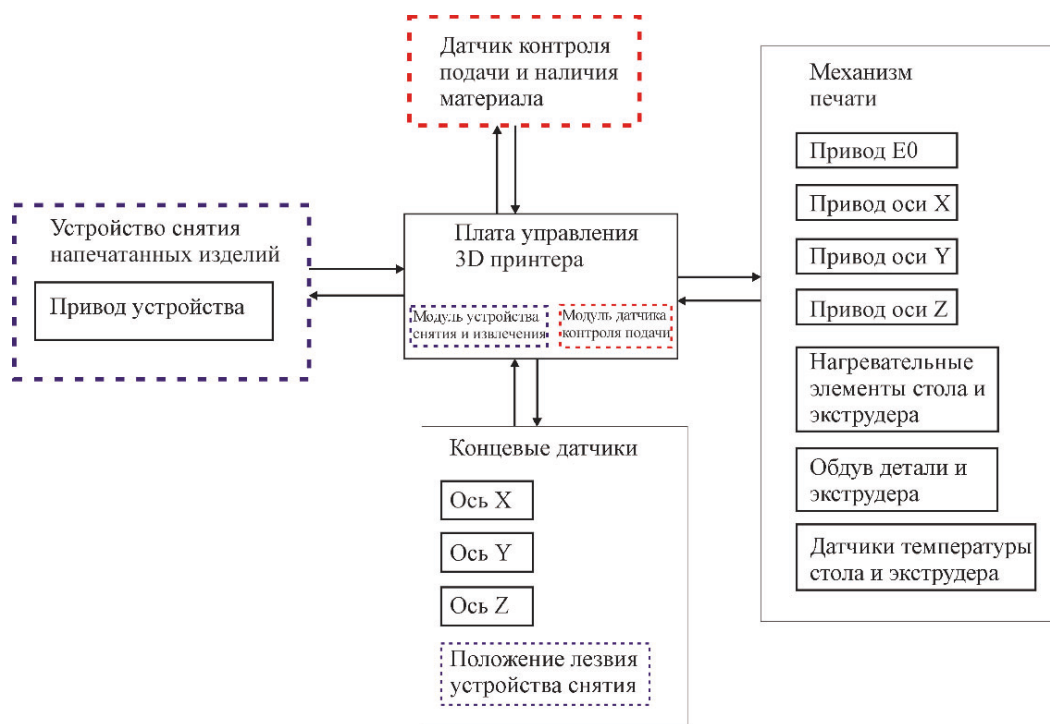


Рис. 1. Функциональная схема FDM 3Dпринтера с подключенными системами



Разработку программного модуля проводилась на основе бесплатного программного обеспечения с открытым исходным кодом «Pronterface». Открытый код находится в репозитории GitHub, где каждый может его скачать и открыть в любой удобной среде [4, 5]. Внешний вид графического интерфейса Pronterface представлен на рис. 3.

Прежде всего, для возможности тестового запуска процесса снятия напечатанного изделия была создана функция, отвечающая за отправку

сообщения 3D принтеру о необходимых действиях. После создана кнопка «Remove», запускающая данную функцию. Также для контроля положения лезвия относительно печатной поверхности был добавлен дополнительный концевой датчик и модифицировано программное обеспечение Marlin для возможности подключения датчика к принтеру.

При работе 3D принтера в режиме снятия и извлечения изделий плата управления генерирует G-код, представленный на рис. 2.

```

#-----
# Раздел с удалением изделий. Прописан обработчик кнопки. Сама кнопка прописана в файле toolbar . py
#-----
def removedTest(self, event):
    dlg=wx.MessageDialog(self, _("Начать автоматическое удаление изделия?"), _("Удаление изделия"), wx.YES | wx.NO)
    if dlg.ShowModal() == wx.ID_YES:
        self.onecmd('G28 X0 Y0 Z0') #Отправляем печатающую головку "домой"
        self.onecmd('T1') #Переключаем принтер на режим снятия
        self.onecmd('G1 Z160') #Отправляем стол в нижнее положение
        self.onecmd('G1 F1200 E-100') #Пододвигаем лезвие к столу
        self.onecmd('G1 Z157') #Поднимаем стол до соприкосновения с лезвием
        self.onecmd('G1 F1200 E-1550') #Лезвие делает полный проход
        self.onecmd('G1 F2000 E0') #Возвращаем лезвие обратно с повышенной скоростью
        self.onecmd('home z') #Отправляем стол "домой"
        self.onecmd('T0') #Переключаем принтер на режим печати
    dlg.Destroy()
    dlg=wx.MessageDialog(self, _("Идет процесс извлечения изделия, по окончании нажмите кнопку ОК"), _("Выполнение"), wx.OK)
    dlg.ShowModal()

```

Рис. 2. G-код снятия и извлечения изделий

Для обработки 3D принтером сигналов датчика контроля и наличия материала предложен алгоритм обработки данных, получаемых с датчика. Необходимо чтобы полученные сигналы преобразовывались в численные значения диаметра прутка пластика, его скорости подачи и двоичного параметр наличия пластика в системе. Эти параметры записываются в переменные: «presencePlast» – наличие пластика в системе (Да/Нет), «diameterPlast» – диаметр пластика и «feedRatePlast» – скорость подачи прутка пластика. Переменная «volumePlast» –

содержит объем выдавленного пластика в минуту. Это значение рассчитывается из переменных «diameterPlast» и «feedRatePlast».

Для наглядного представления состояния принтера создан графический интерфейс, отображающий объем подачи и коэффициент корректировки. Для этого в разрабатываемом программном модуле прописан алгоритм вывода информации с датчика контроля и наличия материала в графический интерфейс программы «Pronterface». На рис. 3 представлена полученная часть программы с текстом и формами вы-

Наличие пластика:  Диаметр пластика:  мм  
 Скорость подачи:  мм<sup>3</sup> в мин.  
 T:22.03 /0.00 T0:22.03 /0.00 T1:25.00 /0.00 @:0 @0:0 @1:0

Наличие пластика:  Диаметр пластика:  мм  
 Скорость подачи:  мм/мин Текущий объем:  мм<sup>3</sup> в мин.  
 T:21.99 /0.00 T0:21.99 /0.00 T1:25.00 /0.00 @:0 @0:0 @1:0  
 Текущая скорость подачи

Наличие пластика:  Диаметр пластика:  мм  
 Скорость подачи:  мм/мин Текущий объем:  мм<sup>3</sup> в мин.  
 T:21.91 /0.00 T0:21.91 /0.00 T1:25.00 /0.00 @:0 @0:0 @1:0  
 Диаметр прутка пластика в системе

Наличие пластика:  Диаметр пластика:  мм  
 Скорость подачи:  мм/мин Текущий объем:  мм<sup>3</sup> в мин.  
 T:21.76 /0.00 T0:21.76 /0.00 T1:25.00 /0.00 @:0 @0:0 @1:0  
 Выдавленный объем пластика

Рис. 3. Вывод информации с датчика

воды численных значений. Также, при наведении курсора на окна вывода выходит окно с пояснением этого значения.

После создания визуальных окон вывода информации, был добавлен алгоритм остановки 3D принтера при окончании пластика. Причем, необходимо, чтобы после замены пластика на новый, принтер продолжил печать с той же точки, в которой печать была приостановлена. Для этого создана специальная функция, в которой если параметр «presencePlast» равен «false» или при существенной разнице между поданным и требуемым объемом материала, то печать временно приостанавливается, принтер запоминает текущее положение печатающей головки, затем экструдер осуществляет ретракт пластика для простой вставки нового прутка, стол опускается для того, чтобы печатная головка отъехала в сервисное положение. Сразу после этого выводится диалоговое окно, которое уведомляет пользователя, что пластик за-

кончился. Когда пользователь загрузит пластик и подтвердит это, программа проверит наличие прутка пластика. Если кнопка нажата и пластик в экструдере, запустится процесс восстановления печати. Экструдер выдавит немного пластика и сбросит свое положение, затем печатная головка вернется к позиции остановки, которую принтер запомнил и печать возобновится с того же места [6].

Разработанное программное обеспечение предназначено для управления 3D принтером при помощи стандартного компьютера по протоколу USB. В качестве дополнительных функций: возможность автоматического снятия напечатанных изделий, автоматический останов и возобновление печати при окончании пластика, просмотр в режиме реального времени состояния прутка пластика: его наличие в системе, скорость подачи, диаметр и выдавленный объем. Окно программы с подключенным разработанным программным модулем представлено на рис. 4.

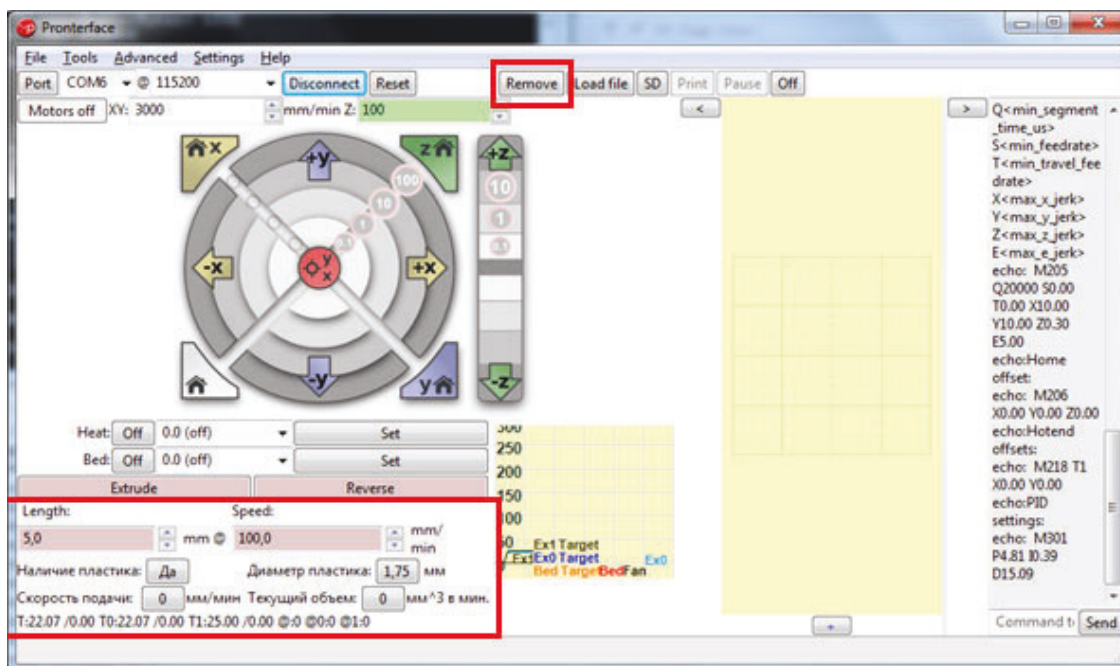


Рис. 4. Окно программы с подключенным программным модулем

Предложенное программное обеспечение можно использовать со многими 3D принтерами, у которых есть возможность подключения к персональному компьютеру. Дальнейшая работа будет заключаться в тестировании работы программного модуля, доработка интерфейса программы и будет добавлена возможность работы с разными типами датчиков контроля подачи материала.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дроботов, А. В. Применение FDM технологии объемной печати для мелкосерийного производства изделий / А. В. Дроботов, И. В. Мартынович, И. С. Турбаров // XIV межрегиональная научно-практическая конференция «Взаимодействие предприятий и вузов – наука, кадры, новые технологии» (г. Волжский, 18 октября 2018 г.): сб. докл. конф. / под ред. С. И. Благилина ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград ; Волжский, 2018. – С. 151 – 155.
2. Шемелюнас, С. С. Анализ и совершенствование системы контроля подачи материала в FDM 3D принтерах /

С. С. Шемелюнас, А. В. Омаров, А. В. Дроботов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (243) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 78–81.

3. П. м. 195094 Российская Федерация, МПК В41L1/00. Устройство автоматического снятия и извлечения напечатанных изделий из камеры 3D принтера / С. С. Шемелюнас, А. В. Омаров, А. А. Шмелева, А. В. Дроботов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2019124990 ; заявл. 07.08.2019. ; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.

4. Pronterface, Pronsole, Printcore [Электронный ресурс] // pronterface :официальный сайт. – 2020. – Режим доступа :<https://www.pronterface.com> (дата обращения. 20.12.2020).

5. GitHub - kliment/Printrun[Электронный ресурс] // GitHub :официальный сайт. – 2020. – Режим доступа : <https://github.com/kliment/Printrun> (дата обращения. 20.12.2020).

6. Датчик окончания филамента на Октопринте [Электронный ресурс] // 3D today: официальный сайт. – 2020. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/an-drewstick/the-sensor-end-of-the-filament-on-oktoprint/#> (дата обращения. 20.12.2020).

УДК 681.785:535.6

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-82-84

*А. А. Яковлев, В. Н. Гребенников, С. Г. Поступаева*

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОСРЕДСТВОМ ЕЕ СТРУКТУРИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: [yaa\\_777@mail.ru](mailto:yaa_777@mail.ru), [vovan\\_grib@mail.ru](mailto:vovan_grib@mail.ru)

Рассматривается метод декомпозиции электрической схемы, позволяющий получить ее системное представление, упрощающее выявление принципов и особенностей ее функционирования. На примере электрической схемы транзисторного радиоприемника прямого усиления показан процесс ее структурирования согласно заложенного в него физического принципа действия, позволяющий произвести дальнейшую его декомпозицию. Метод позволяет представить электрическую схему в виде четырехуровневой модели, что дает возможность работать с ней разработчикам разной квалификации.

*Ключевые слова:* физический принцип действия, метод, декомпозиция, схема электрическая.

*A. A. Yakovlev, V. N. Grebennikov, S. G. Postupaeva*

### **DEVELOPMENT OF THE METHOD OF DECOMPOSITION OF THE ELECTRICAL CIRCUIT BY MEANS OF ITS STRUCTURING ON THE BASIS OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF OPERATION MODEL**

**Volgograd State Technical University**

A method of decomposition of the electrical circuit is considered, which allows to obtain its systemic representation, which simplifies the identification of the principles and features of its functioning. On the example of an electrical circuit of a transistor radio receiver of direct amplification, the process of its structuring is shown according to the physical principle of action laid down in it, which allows its further decomposition. The method allows you to represent an electrical circuit in the form of a four-level model, which makes it possible to work with it for developers of different qualifications.

*Keywords:* physical principle of operation, method, decomposition, electrical circuit.

В работе любого радиоэлектронного устройства (РЭУ) заложен один или несколько физических принципов действия (ФПД) [1, 12, 14] которые находят свое отражение в различной конструкторской документации (КД). Одним из базовых документов КД при разработке РЭУ является схема электрическая принципиальная «ЭЗ», на которой изображается каким образом соединяются между собой электрорадиоэлементы (ЭРЭ), входящие в конструкцию РЭУ.

В качестве примера, рассмотрим схему электрическую принципиальную «ЭЗ» транзисторного радиоприемника прямого усиления [2], [3],

[4], [5], принимающего амплитудно-модулированные сигналы, представленную на рис. 1.

Структурно в ней можно выделить четыре разных уровня схемных решений (фрагментов схем), согласно выполняемых ими функций.

Первый уровень включает в себя фрагменты схемы, обеспечивающие работоспособность элементов схемы (т. н. «обвязка»), задача решается в общем виде без привязки к конкретному устройству (т. е. элементы, например, транзистор, которые не во всех случаях могут устанавливаться в схему без «обвязки») – резистор смещения R2 [2], [6], [7].

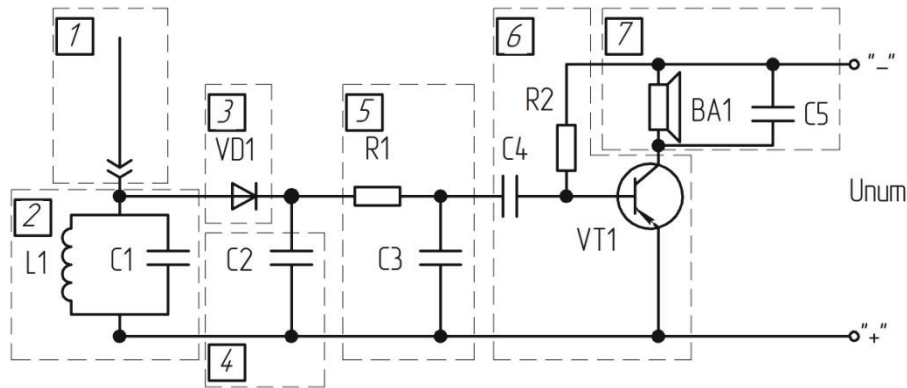


Рис. 1. Электрическая схема радиоприемника

Второй уровень включает в себя фрагменты схемы, выполняющие определенную элементарную функцию по изменению значимых физических параметров электрической схемы, включает в себя схемные решения первого уровня, задача решается в общем виде без привязки к конкретному устройству (усилитель высокой частоты – УВЧ, фильтр нижних частот – ФНЧ, стабилизатор напряжения, ограничитель напряжения и т. д.). Из схемы на рис. 1: ФНЧ –  $R1, C3$ ; сглаживающий конденсатор –  $C2$ ; фильтрующий постоянную составляющую сигнала конденсатор –  $C4$  [2], [6], [7].

Третий уровень включает в себя логические объединения схемных решений второго уровня с целью решения специфических задач из ряда задач, решаемых в устройстве, например, пре-

образования радиосигнала (изменение частоты, формы, спектрального состава и т. п.). Здесь уже проявляется специфика разрабатываемой аппаратуры, но опять же задача решается в общем виде без привязки к конкретному. Из схемы на рис. 1: колебательный контур  $L1, C1$ ; детектор  $VD1$  [2], [6], [7].

Четвертый уровень включает в себя логические объединения схемных решений второго и третьего уровня с целью решения задачи в частном виде конкретной схемной реализации ФПД устройства, например, транзисторного радиоприемника. Из схемы на рис. 1: восстановление формы звукового сигнала  $VD1, C2$  [2], [6], [7].

При амплитудно-модулированном сигнале в общем виде, с некоторыми упрощениями, ФПД радиоприемника [2], [3], [4] показан на рис. 2.

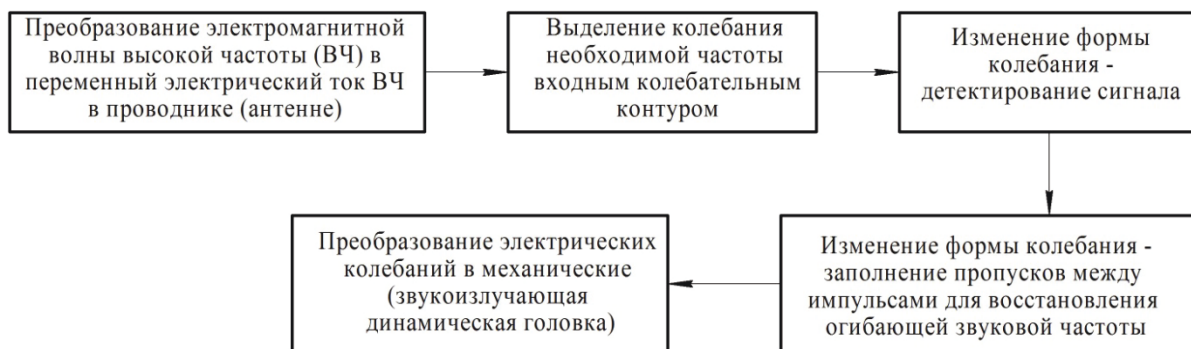


Рис. 2. ФПД радиоприемника

Для конкретной реализации устройства ФПД будет корректироваться согласно его схеме [8], [9], [10], [11], [13].

Декомпозиция электрической схемы, представленной на рис. 1, на схемные решения согласно ФПД радиоприемника с применением системного подхода [1], [12], [14], позволяет структурировать ее относительно выполняемых схемными решениями функций. В таблице представлен результат этой работы.

Как видно из таблицы, ФПД радиоприемника определяют схемные решения не ниже третьего уровня (№ 1, 2, 3, 4, 7). Первый и второй уровни являются вспомогательными и какой-либо смысловой нагрузки не несут. Третий и четвертый уровни наиболее подходят для отображения ФПД радиоприемника, т. к. в достаточной степени раскрывают процессы, обеспечивающие его реализацию.



## Декомпозиция транзисторного приемника прямого усиления

| № п/п | Наименование схемного решения                   | Выполняемая функция  | Уровень схемного решения | Примечание   |
|-------|---|--|--------------------------|--|
| 1     | Антенна   | Преобразование ЭМ волн ВЧ в переменный электрический ток ВЧ в проводнике   | 4                        | Заложено в ФПД радиоприемника  |
| 2     | Входной фильтр (колебательный контур)           | Выделение необходимой частоты  | 3                        | Заложено в ФПД радиоприемника  |
| 3     | Детектор (диод)                                 | Изменение формы колебания («отсечение» одной из полуплоскостей)  | 3                        | Заложено в ФПД радиоприемника  |
| 4     | Сглаживающий фильтр («заполняющий конденсатор») | Изменение формы колебания (заполнение пропусков между импульсами для восстановления огибающей звуковой частоты – ЗЧ) | 4                        | Заложено в ФПД радиоприемника  |
| 5     | Фильтр нижних частот (ФНЧ)                      | Выделение колебания необходимой частоты  | 2                        | Снижение количества помех, повышение качества воспроизводимого сигнала |
| 6     | Усилитель звуковой частоты (УЗЧ)                | Увеличение амплитуды колебания ЗЧ  | 2                        | Повышение мощности воспроизводимого сигнала                            |
| 7     | Звуковой излучатель                             | Преобразование переменного электрического тока ЗЧ в механические колебания звуковой динамической головки             | 3                        | Заложено в ФПД радиоприемника  |

Описанный метод позволяет:

1) упростить представление выбранного разработчиком способа реализации, заложенного в ФПД РЭУ;

2) упростить понимание ключевых моментов работы схемы электрической, сосредоточив внимание разработчика только на схемных решениях требуемого уровня;

3) упростить представление схемы электрической для возможности работы с ней специалистов разной квалификации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка технических систем на основе эвристического моделирования физического принципа действия / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева, В. Н. Гребенников, Н. В. Федорова // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 8 (243) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – С. 83–86.
2. Основы радиотехники : учеб. пособие. – СПб. : Издательство «Лань», 2007. – 272 с.
3. Соболевский, А. Г. Я строю супергетеродин / А. Г. Соболевский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1971.
4. Основы радиотехники и радиолокации / А. М. Калашников, Я. В. Степчук. – М. : Воениздат, 1965. – 384 с.
5. Ротхаммель, К. Антенны: пер. с нем. / К. Ротхаммель. – 3-е изд., доп. – М. : Энергия, 1979. – 320 с.
6. Поляков, В. Т. Приемники прямого преобразования для любительской связи / В. Т. Поляков. – М. : ДОСААФ, 1981. – 80 с.
7. Иванов, Б. С. Электронные самоделки / Б. С. Иванов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Просвещение, 1993. – 191 с.
8. Автоматизированное устройство подачи смазывающе-охлаждающего технологического средства в зону резания при обработке деталей концевыми фрезами / А. А. Яковлев, С. В. Шостенко, С. Н. Бориско, С. Г. Поступаева // Вестник машиностроения. – 2020. – № 2. – С. 3–8.
9. Разработка устройства подачи смазывающе-охлаждающего технологического средства с системой автоматического управления температурным режимом / А. А. Яковлев, С. В. Шостенко, С. Н. Бориско, С. Г. Поступаева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 8 (713). – С. 34–44.
10. Яковлев, А. А. Разработка технического решения устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка методом поискового конструирования / А. А. Яковлев, Е. Г. Крылов, В. С. Сорокин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 3 (696).
11. Development of Cooling and Refrigerating Systems by the Search Design / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева, В. Н. Гребенников, Е. И. Сутулов // 8th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART-2019, IEEE Conference ID: 46866) (22nd–23rd November, 2019) : Proceedings / eds.: A. Kr. Saxena, D. Parygin, D. Ather, V. Yadav ; College of Computing Sciences & Information Technology, Teerthanker Mahaveer University (Moradabad, India), IEEE UP Section. – New Delhi (India), 2019. – P. 363–367.
12. Яковлев, А. А. Development of Design Solution for Photoelectrocolorimeter Electron-Optical Unit by Heuristic Modifying the Model of the Physical Principle of Operation / А. А. Яковлев, В. Гребенников, В. Г. Барабанов // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, Russia, 18–22 May, 2020) : conf. proceedings. – [Publisher: IEEE]. – URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/9111930>.
13. Программа синтеза технических решений систем охлаждения автоматизированного оборудования / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева, В. Н. Гребенников, А. А. Меджидов // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 1 (236) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – С. 90–93.
14. Электронно-оптический блок для автоматического подбора рабочей длины волны фотоэлектроколориметра / А. А. Яковлев, В. Н. Гребенников, С. А. Коробкова, С. Г. Поступаева // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 1 (236) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – С. 88–90.

Ответственный за выпуск редактор РИО  
**Н. Н. Кваша**

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)

---

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.  
Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)  
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00  
E-mail: president@vstu.ru

---

Темплан 2021 г. Поз. № 2ж. Дата выхода в свет 26.03.2021 г. Формат 60 × 84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 9,95.  
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 178.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО издательства ВолГТУ  
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.  
Отпечатано в типографии издательства ВолГТУ  
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.