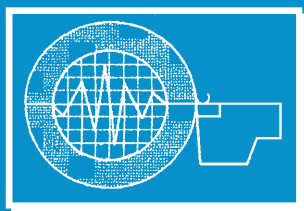


# ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского  
государственного  
технического  
университета

ISSN 1990-5297



Серия

Прогрессивные технологии  
в машиностроении

16+

№ 3 (286)  
2024

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.*, академик РАН, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ  
*Марков В. А.*, д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет  
(МГТУ) им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)  
*Мертен Клеменс*, д-р техн. наук, проф. Universität Stuttgart Institut für Chemische Verfahrenstechnik  
(г. Штутгарт, Германия)  
*Навроцкий А. В.*, д-р хим. наук, проф. ВолгГТУ  
*Нижегородцев Р. М.*, д-р экон. наук, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва, Россия)  
*Пай В. В.*, д-р физ.-мат. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)  
*Пустовойт В. Н.*, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Донской государственный технический университет  
(г. Ростов-на-Дону, Россия)  
*Русинов В. Л.*, чл.-корр. РАН, Химико-технологический институт Уральского федерального университета  
(ХТИ УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)  
*Рыбин В. В.*, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Санкт-Петербургский политехнический университет (г. Санкт-Петербург, Россия)  
*Трюэль Жан-Луи*, д-р экон. наук, проф., Университет «Париж-12», Сорбонна, Франция,  
вице-президент Международного клуба экономистов «Круг Кондратьева»  
*Тхай Куанг Винь*, д-р философии, Институт информационных технологий (г. Ханой, Вьетнам)  
*Федянов Е. А.*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ  
*Фролов В. А.*, д-р техн. наук, проф., МАТИ – Российский государственный технологический университет  
им. К. Э. Циолковского (г. Москва, Россия)  
*Шарилов В. М.*, д-р техн. наук, проф.,  
Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)  
*Шаховская Л. С.*, д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ  
*Щербаков М. В.*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ

Серия  
«ПРОГРЕССИВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ»

# ИЗВЕСТИЯ



ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

**Чигиринский Ю. Л.**, д.т.н., доц.

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

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

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

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

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

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

**Сидякин Ю. И.**, д.т.н., проф.

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

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

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

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

**Плотников А. Л.**, д.т.н., проф.

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

Международный индекс журнала  
ISSN 1990-5297.

Журнал распространяется  
по подписке.  
Индекс журнала  
по объединенному каталогу  
«Пресса России» – 80811  
[https://www.pressa-  
rf.ru/cat/1/edition/y\\_e80811/](https://www.pressa-<br/>rf.ru/cat/1/edition/y_e80811/)

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

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

## № 3 (286)

## Март 2024

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»

Адрес редакции:

Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.  
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00  
E-mail: [president@vstu.ru](mailto: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. Solov'yov (Rybinsk, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SERIES  
«ADVANCED  
TECHNOLOGY IN  
MACHINE BUILDING»

# IZVESTIA



VOLGOGRAD STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY

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

## Editorial board:

### Chairman

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

International index of the journal  
ISSN 1990-5297.

The journal is distributed by sub-  
scription.  
Index of the magazine according to  
the united catalog  
«Press of Russia» – 80811.  
[https://www.pressa-  
rf.ru/cat/1/edition/y\\_e80811/](https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/y_e80811/)

**Tel. Of VSTU editorial office:**  
8-(8442) 24-84-05  
8-(8442) 24-84-08  
zavrio@vstu.ru

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

**№ 3 (286)**  
**March**  
**2024**

## FOUNDER:

FSBEI of Higher Professional Education  
«Volgograd State Technical University»

## Editorial office address:

Volgograd, Lenin avenue, 28.

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

**E-mail:** 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

- Авдонин В. В. 7  
Алехин А. Г. 45  
Барабанов В. Г. 50  
Белокопытов Е. С. 65  
Бикчурин Н. Д. 42  
Буза М. Н. 45  
Бунина А. Д. 48  
Васильева Ю. В. 50  
Волков И. В. 72  
Волохов М. А. 54  
Голованчиков А. Б. 58  
Горелова А. Ю. 42, 60  
Гусев В. В. 65  
Делев А. В. 45  
Дроботов А. В. 54  
Жданов А. А. 7, 37  
Залипаева О. А. 48, 58  
Зинченко В. В. 60  
Ивон Нкеуа Д. А. 13  
Ингеманссон А. Р. 30  
Карасев Р. С. 21  
Карлов В. И. 17  
Карнишина И. А. 34  
Кобцева И. В. 75  
Кожевникова А. А. 13, 21  
Козловцева Н. В. 60  
Крайнев Д. В. 78  
Кривко А. Д. 58  
Крылов Е. Г. 60  
Крыхтин Ю. И. 17  
Курсин О. А. 13  
Кухтик М. П. 65, 68  
Макаров А. М. 34, 72  
Назарова И. С. 21  
Наумов А. А. 78  
Овчинников Г. Н. 72  
Панюлайтис А. С. 72  
Плотников А. Л. 37  
Полянчикова М. Ю. 21, 42  
Поступаева С. Г. 48, 58, 75  
Рогачев А. В. 7, 25  
Сидякин Ю. И. 7  
Стражев В. В. 25  
Сулейманов Д. А. 78  
Тихонова Ж. С. 34, 78  
Толстяков Н. А. 30  
Тришин Н. В. 34  
Улитин А. С. 68  
Фирсов И. В. 37  
Фролов Е. М. 25  
Чигиринский Ю. Л. 13, 25, 37  
Шемелюнас С. С. 34  
Яковлев А. А. 75  
Ящук В. М. 48

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Жданов А. А., Сидякин Ю. И., Авдонин В. В., Рогачев А. В.</i> Исследование влияния СОТС на шероховатости поверхности при продольном точении стали У10.....	7
<i>Ивон Нкеуа Д. Д., Чигиринский Ю. Л., Курсин О. А., Кожевникова А. А.</i> Влияние основных параметров криогенной обработки на шероховатость поверхности при хонинговании изделий из низкоуглеродистых сталей.....	13
<i>Крыхтин Ю. И., Карлов В. И.</i> Определение податливости валов механической коробки передач гусеничной машины с большой удельной мощностью.....	17
<i>Полянчикова М. Ю., Карасев Р. С., Кожевникова А. А., Назарова И. С.</i> Анализ направлений гармонизации национальных стандартов в области систем менеджмента.....	21
<i>Стражев В. В., Фролов Е. М., Чигиринский Ю. Л., Рогачев А. В.</i> Обзор методов повышения качества лезвийной обработки.....	25
<i>Толстяков Н. А., Ингеманссон А. Р.</i> Влияние неравномерного распределения твердости в крупногабаритных кузнечно-прессовых заготовках на характеристики стружкообразования на операциях глубокого сверления.....	30
<i>Тришин Н. В., Карнишина И. А., Шемелюнас С. С., Макаров А. М., Тихонова Ж. С.</i> Разработка импортозамещающей технологии изготовления комплектующих изделий для автоматической линии пищевого производства.....	34
<i>Чигиринский Ю. Л., Плотников А. Л., Фирсов И. В., Жданов А. А.</i> К вопросу о необходимости создания цифровых двойников технологических процессов механической обработки деталей машин.....	37

### Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Бикчурин Н. Д., Горелова, А. Ю., Полянчикова М. Ю.</i> Способ автоматического расчета солнечной электростанции.....	42
<i>Буза М. Н., Делев А. В., Алехин А. Г.</i> Определение угла естественного откоса сыпучих веществ на основе триангуляционной модели.....	45
<i>Булнина А. Д., Залипаева О. А., Яцук В. М., Поступаева С. Г.</i> Система управления реакторным блоком установки гидроконверсии тяжелых нефтяных остатков.....	48
<i>Васильева Ю. В., Барабанов В. Г.</i> Разработка программы управления наружным освещением улиц города на ПЛК WIREN BOARD 7.....	50
<i>Волохов М. А., Дроботов А. В.</i> Методы преобразования и разделения 3D-модели на слои для аддитивного производства.....	54
<i>Голованчиков А. Б., Залипаева О. А., Поступаева С. Г., Кривко А. Д.</i> Инерционный резонансный сепаратор с саморегулированием пеногашения.....	58
<i>Крылов Е. Г., Козловцева Н. В., Горелова А. Ю., Зинченко, В. В.</i> Устройство и программа для автоматической сортировки сменных инструментальных пластин.....	60

<i>Кухтик М. П., Белокопытов Е. С., Гусев В. В.</i> Автоматизированная система мониторинга местоположения заготовки при производстве металлопроката.....	65
<i>Кухтик М. П., Улитин А. С.</i> Разработка алгоритма и программы управления работой камерной электрической печи.....	68
<i>Панюлайтис А. С., Овчинников Г. Н., Макаров А. М., Волков И. В.</i> Исследование процесса каплеобразования при работе устройства для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов.....	72
<i>Поступаева С. Г., Яковлев А. А., Кобцева И. В.</i> Разработка модели физического принципа действия системы автоматического регулирования уровнем жидкости.....	75
<i>Сулейманов Д. А., Тихонова Ж. С., Крайнев Д. В., Наумов А. А.</i> Разработка роботизированной ячейки хранения и выдачи инструмента.....	78
К сведению авторов.....	83



## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-7-13

*А. А. Жданов, Ю. И. Сидякин, В. В. Авдонин, А. В. Рогачев*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОТС НА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ТОЧЕНИИ СТАЛИ У10

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alex\_128@mail.ru

В статье приведены предварительные результаты исследований, позволяющие говорить о том, что известную методику автоматизированного назначения рациональных режимов резания в условиях безлюдной технологии на современных токарных станках с ЧПУ, являющихся по сути автоматизированными системами, можно применить при обработке с использованием смазывающе-охлаждающих технологических средств, для чего требуется проведение необходимого количества экспериментов и построение соответствующих регрессионных математических моделей. Данные исследования направлены на обучение автоматизированных систем в машиностроении самостоятельному принятию решений в области назначения режимов механической обработки на основе предварительной или оперативной информации о теплофизических свойствах контактных пар «инструмент-заготовка» и других измерительных сигналов из зоны резания без участия оператора.

*Ключевые слова:* режимы резания, технологические смазочные материалы, адаптивные системы, шероховатость.

*A. A. Zhdanov, Yu. I. Sidiyakin, V. V. Avdonin, A. V. Rogachev*

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STS ON SURFACE ROUGHNESS DURING LONGITUDINAL TURNING OF STEEL U10

Volgograd State Technical University

The article presents preliminary research results that suggest that the well-known method of automated assignment of rational cutting modes in conditions of deserted technology on modern CNC lathes, which are essentially automated systems, can be applied to processing using lubricating and cooling technological means, which requires conducting the required number of experiments and building appropriate regression mathematical models. These studies are aimed at teaching automated systems in machine building to make independent decisions in the field of assigning machining modes based on preliminary or operational information about the thermophysical properties of contact pairs "instrument-workpiece" and other measuring signals from the cutting zone without operator participation.

*Keywords:* Cutting modes, technological lubricants, adaptive systems, roughness.

В современном машиностроении парк станков с программным управлением становится все более широким, а современный станок с ЧПУ может выполнять цикл обработки деталей без вмешательства оператора, являясь, по сути, полноценной автоматизированной системой. Автоматизированная система тем совершеннее, чем большее количество задач она способна решать без помощи человека. В металлообработке такие системы должны уметь обрабатывать внештатные ситуации. Например, скол режущей пластины резца, увеличенный износ пластины, неравномерность

припуска, неравномерность механических свойств поверхности заготовки и т. д. – все это может влиять на качество обработки. При работе на универсальных станках оператор-станочник может, исходя из своего опыта, регулировать те или иные настройки станка, тем самым как бы отрабатывая те сигналы, которые он наблюдает: изменение вида стружки, изменение звука, вибрации и т. д. Назначение рациональных режимов обработки и их корректировка в режиме реального времени – одна из задач, которые современные металлорежущие станки должны уметь решать.

Ключевой проблемой при назначении режимов обработки является широкий разброс диапазона рекомендуемых значений скорости резания и расчетных значений сил резания в зависимости от выбранного источника литературы (справочника) или рекомендации изготовителя твердосплавных пластин [1, 2].

Известен метод [1, 2], который позволяет снизить ошибку при назначении режимов обработки и технологических ограничений до приемлемого значения в  $\pm 10\%$  по отношению к экспериментально измеренным параметрам. Суть метода в том, чтобы измерить величину термоЭДС, наводимого в собираемой электрической цепи между инструментом и заготовкой и на основе выведенных регрессионных математических моделей производить собственно выбор режимов резания. Величина термоЭДС в данном случае выступает в качестве индикатора, отражающие комплекс свойств конкретной контактной пары «инструмент-заготовка»: теплофизические свойства, геометрию режущего инструмента и т. д.

Область применения данного метода на сегодняшний момент – токарная обработка стальных деталей твердосплавным инструмен-

том без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС). Однако этот метод позиционируется как перспективный для обучения автоматизированных систем (станков с ЧПУ), где в подавляющем случае наличие СОТС необходимо не только для собственно охлаждения, но и для увода стружки из зоны резания. Ведь рядом со станком с ЧПУ нет оператора, который скребком будет убирать стружку с рабочих органов станка. Этот процесс на современных станках автоматизирован: СОТС уводит стружку в поддон, откуда по конвейеру она поступает в лотки для стружки. Таким образом, расширение области применения данной методики в том числе и на обработку с применением СОТС является актуальной научно-технологической задачей.

Для автоматизации процесса измерения термоЭДС и корректировки режимов резания разработан прототип устройства (рис. 1, 2) [3–5], который состоит из следующих компонентов (рис. 2): микроконтроллера (далее МК) Arduino Nano, платы расширения, модуля аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), платы преобразователя сигналов UART  $\leftrightarrow$  RS232, источника питания; интерфейсного кабеля DB9  $\leftrightarrow$  DB-25.



Рис. 1. Закрепление токосъемника с магнитным креплением на револьверной головке токарного станка с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M

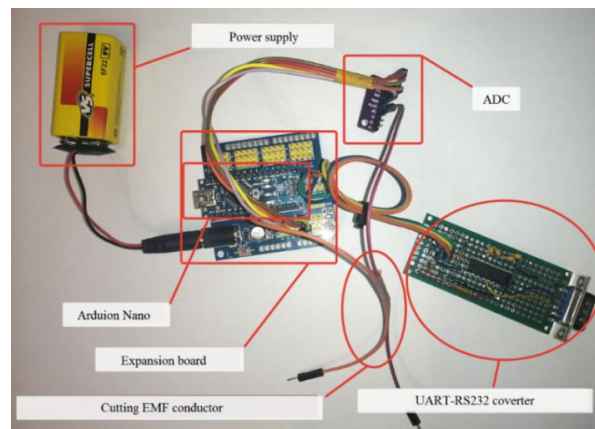


Рис. 2. Схема устройства для автоматизированного назначения режимов обработки на токарном станке с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M

Микроконтроллер подключается к плате расширения, куда присоединяется модуль АЦП, формирующий цепь для измерения ЭДС резания, а также модуль преобразователя сигналов UART – 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) – DB-25(M).

На рис. 3 изображен готовый прототип устройства автоматизированного назначения режимов резания и измерения величины термоЭДС в сборе в пластиковом корпусе в рабочем положении.

Для исследования возможности применения известной методики автоматизированного на-

значения режимов резания на токарных станках с ЧПУ для обработки с применением СОТС использовалась экспериментальная установка на базе токарно-револьверного станка с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M. Станок оснащен прототипом устройства для автоматизированного назначения режимов обработки (рис. 1–3).

Для каждой серии экспериментов проводилась тарирование пластин в соответствии с методикой [6].

Для дальнейших исследований после процедуры тарировки передаются пластины, которые имеют только порядковый номер граней и пластин. Операторы, занимающиеся дальнейшими опытами, не имеют представления о соотношении номера пластины (граней) и ее принадлежности к конкретному диапазону термоЭДС. Таким образом достигается «ослепление» при исследовании.



Рис. 3. Прототип устройства для автоматизированного назначения режимов обработки на токарном станке с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M в сборе в пластиковом корпусе в рабочем положении

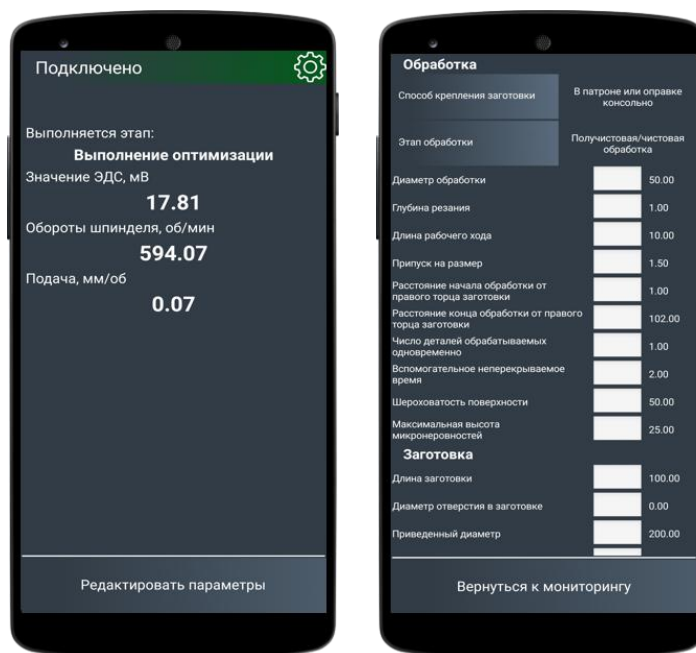


Рис. 4. Скриншот рабочих окон мобильного приложения прототипа автоматизированного устройства назначения режимов резания и измерения термоЭДС

#### Методика исследования влияния СОТС на параметры шероховатости поверхности

Целью исследования является проверка возможности применения известной методики прогнозирования параметров шероховатости поверхности ( $R_a$ ,  $R_z$ ) на случай обработки с применением СОТС.

Алгоритм исследования:

1. Тарировка пластин. При проведении испытаний по определению шероховатости по-

верхности использовались ромбические твердосплавные пластины с покрытием WNMG 060408-VM производства Японии. Обрабатываемый материал – сталь У10. Пластины тарировались по величине термоЭДС, выделялись группы пластин по крайним точкам диапазона измеренных значений термоЭДС.

2. Производилась обработка в режиме полустачки, при этом осуществлялся перебор выбранных факторов (скорости реза-

ния, подачи, термоЭДС), чтобы получить 27 точек для построения регрессионных моделей для случаев обработки с СОЖ и без СОЖ. Эксперимент повторялся три раза согласно критерию Стьюдента. Матрица эксперимента приведена в табл. 1.

Параметры Ra и Rz фиксировались с помощью профилометра Mitutoyo Surftest SJ-210. Пример профилограммы представлен на рис. 5.

3. Обработка и анализ результатов эксперимента.

Результаты исследований:

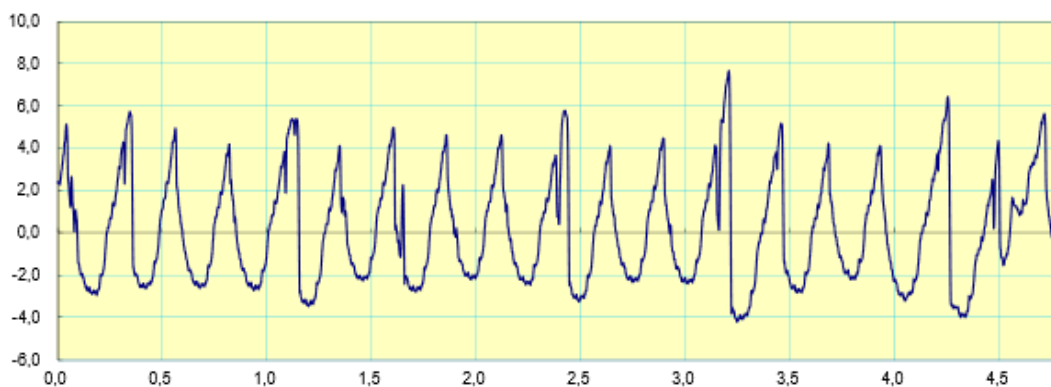


Рис. 5. Пример профилограммы (профилометр Mitutoyo Surftest SJ-210)

Таблица 1

**Матрица экспериментов для построения регрессионных моделей зависимости параметров шероховатости от выбранных факторов и наличия СОЖ при тонком продольном точении стали У10 резцом WNMG060408-VM**

№ опыта	Факторы				Измеряемые параметры	
	v, м/мин	S, мм/об	E <sub>пр</sub> , мВ	t, мм	Ra, мкм	Rz, мкм
1	100	0,1	10,01	1	—	—
2	150	0,1	10,01		—	—
3	200	0,1	10,01		—	—
4	100	0,1	16,13		—	—
5	150	0,1	16,13		—	—
6	200	0,1	16,13		—	—
7	100	0,1	19,98		—	—
8	150	0,1	19,98		—	—
9	200	0,1	19,98		—	—
10	100	0,25	10,01		—	—
11	150	0,25	10,01		—	—
12	200	0,25	10,01		—	—
13	100	0,25	16,13		—	—
14	150	0,25	16,13		—	—
15	200	0,25	16,13		—	—
16	100	0,25	19,98		—	—
17	150	0,25	19,98		—	—
18	200	0,25	19,98		—	—
19	100	0,4	10,01		—	—
20	150	0,4	10,01		—	—
21	200	0,4	10,01		—	—
22	100	0,4	16,13		—	—
23	150	0,4	16,13		—	—
24	200	0,4	16,13		—	—
25	100	0,4	19,98		—	—
26	150	0,4	19,98		—	—
27	200	0,4	19,98		—	—

### Результаты экспериментальных исследований влияния СОТС на параметры Ra и Rz шероховатости поверхности

При исследовании влияния наличия СОТС на параметры Ra, Rz шероховатости были получены графики (рис. 6, 7), а также произведен многофакторный регрессионный анализ для случая обработки без СОТС и с СОТС.

Был выполнен расчет шероховатости при точении согласно формуле:

$$Ra = C_{Ra} \cdot \frac{E^{K_1} \cdot t^{K_2} \cdot S^{K_3}}{V^{K_4}}, (\text{мкм})$$

где  $C_{Ra}$  – коэффициент, учитывающий вид обработки (при получистовой обработке:  $C_{Ra} = 5,063$ ;  $E$  – значение термоЭДС контактной пары «инструмент-заготовка», мВ;  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача на оборот, мм/об;  $V$  – скорость резания, м/мин;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – показатели степени при соответствующих факторах (получистовая обработка:  $K_1=0,5$ ;  $K_2=1,122$ ;  $K_3=0,7$ ;  $K_4=0,26$ ) [7].

В табл. 2  $\Phi_0$  – это статистический коэффициент, отражающий совокупное влияние постоянных и неучтенных факторов. Из табл. 2 видно, что скорость резания, например, является наименее значимым фактором, который для показательной модели вообще можно не учитывать. Геометрические параметры, формирующие шероховатость, складываются из двух составляющих. Первая из них – подача ( $S$ , мм/об). Вторая составляющая – геометрия режущего инструмента, в частности, углы в плане и радиус закругления режущей кромки. Данная составляющая учитывается величиной термоЭДС, которая выступает некоторым комплексным индикатором, учитывающим и тепловые, и геометрические свойства инструмента. Влияние параметра термоЭДС очень существенно и является определяющим в данных моделях. Об этом свидетельствует и форма кривых на графиках (рис. 5–9).

Таблица 2

Анализ значимости факторов при построении регрессионных моделей: линейной, степенной, показательной – для случая обработки с СОЖ

Модель		Вид	Значимость факторов (норм. регрессия)			
			$\Phi_0$	$E_{пр}$ , мВ	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об
1	Линейная, все факторы	$R = C_0 + \sum_{i=1}^N \Phi_i \cdot C_i$	-0,247	0,093	0,045	0,882
2	Линейная, значимые факторы		-0,247	0,093	0,045	0,882
3	Степенная, все факторы	$R = C_0 \cdot \prod_{i=1}^N \Phi_i^{C_i}$	-0,081	0,055	-0,003	0,953
4	Степенная, значимые факторы		-0,081	0,055	-	0,935
5	Показательная, все факторы	$R = C_0 \cdot \prod_{i=1}^N C_i^{\Phi_i}$	-0,081	0,041	-0,022	0,935
6	Показательная, значимые факторы		-0,081	0,041	–	0,935

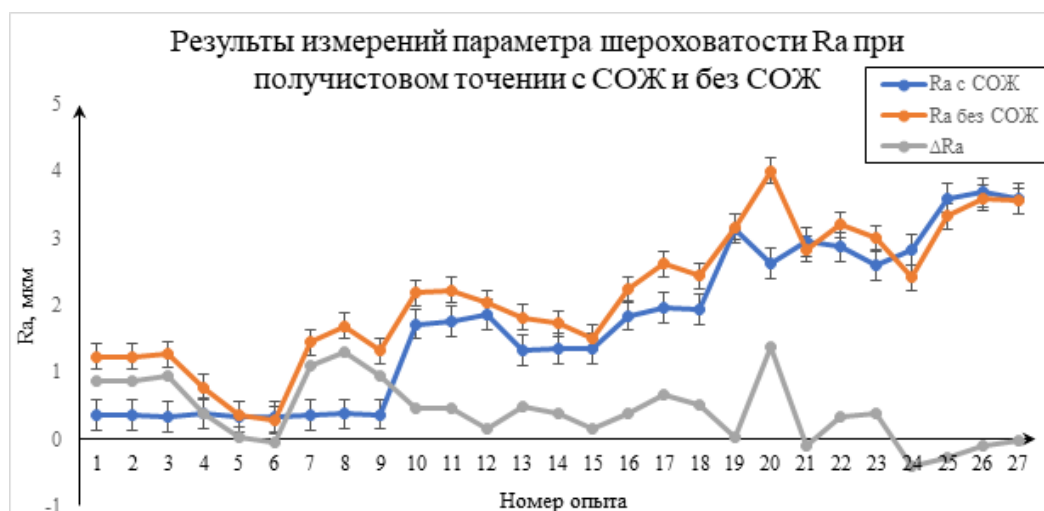


Рис. 6. Сравнение экспериментальных данных по измерению параметра Ra при получистовом продольном точении с применением СОЖ и без



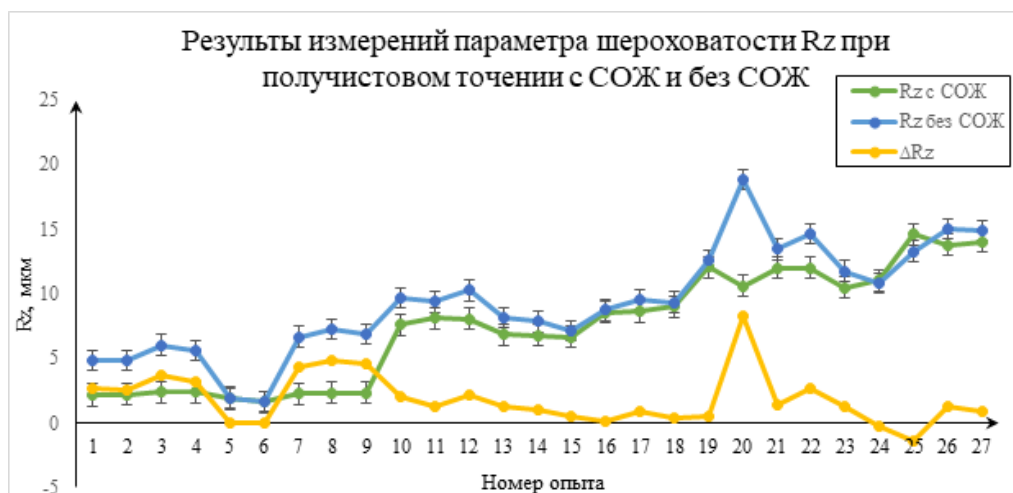


Рис. 7. Сравнение экспериментальных данных по измерению параметра Rz при получистовом продольном точении с применением СОЖ и без

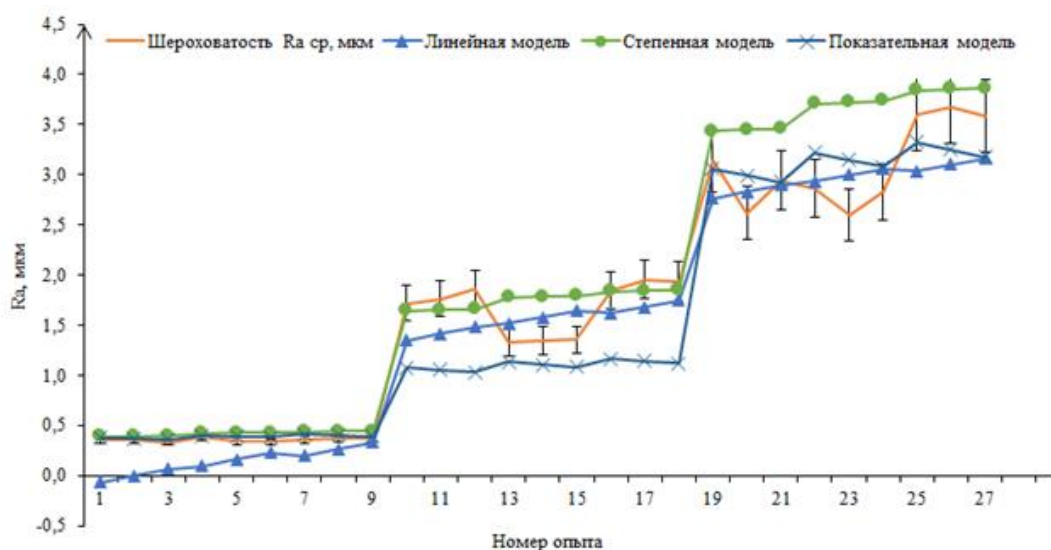


Рис. 8. Сравнение полученных регрессионных моделей: линейной, степенной, показательной – для случая обработки с СОТС

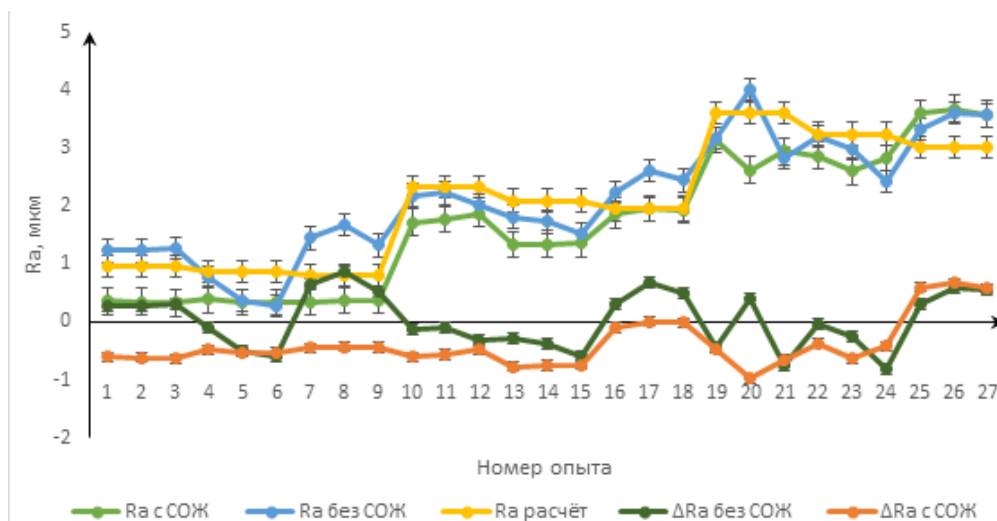


Рис. 9. Сравнение экспериментальных данных по измерению параметра Ra при получистовом продольном точении с применением СОЖ и без СОЖ с расчетными значениями

Таким образом, получены данные позволяющие говорить о том, что известную методику автоматизированного назначения рациональных режимов резания в условиях безлюдной технологии на современных токарных станках с ЧПУ, можно применить на обработку с использованием смазывающе-охлаждающих технологических средств, для чего требуется проведение необходимого количества экспериментов и построение соответствующих регрессионных математических моделей. Данные исследования направлены на выявление корреляции зависимости термоЭДС на шероховатость поверхности при продольном точении стальных заготовок при различных параметрах резания. Необходимо дальнейшее изучение и масштабирование исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Plotnikov, A. L., Chigirinskii, Yu. L., Frolov, E. M., Krylov, E. G. Formulating CAD/CAM modules for calculating the cutting conditions in machining. Russian Engineering Research. 5 (29), 512-517 (2009). DOI: 10.3103/S1068798X09050207.
2. Plotnikov, A. L., Krylov, E. G., Frolov, E. M. Diagnostics of the state of a multicutter hard-alloy tool on the basis of thermoelectric phenomena in the cutting zone. Russian Engineering Research, 2 (30), 161-165 (2010). DOI: 10.3103/S1068798X10020140.
3. Kraynev, D., Bondarev, A., Tikhonova, Z. (2020). Mat-

hemical Apparatus for Predicting Cutting Tool Life in Turning Process After Prior Plastic Deformation. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvenskiy, Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1\\_118](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_118).

4. Tikhonova, Zh., Kraynev, D., Frolov, E. (2020). Thermo-Emf as Method for Testing Properties of Replaceable Contact Pairs. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvenskiy, Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1\\_117](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_117).

5. Frolov, E. M., Rogachev, A. V. Intellectual device for automated assignment of turning modes (Intellectualnoye ustroystvo avtomaticheskogo naznacheniya rezhimov tocheniya). In: Zverovshchikov, A.E. et al. (eds.). Actual problems of machine building – 2023 (Aktualnye problem stankostroyeniya), pp. 411-415. Penza State University, OO “StaknoMashStroy” et al., Penza (2023).

6. Определение рациональных условий эксплуатации твердосплавного инструмента с наноструктурированным поверхностным слоем рабочей части по критерию повышения долговечности при точении конструкционных материалов различных групп : заключительный отчет о НИР № 101-01/2021 (26/365-21) ; ВолгГТУ, ИМАШ РАН. – 2021.

7. Svid. about the state registration of the computer program No. 2012617650 dated August 24, 2012 of the Russian Federation, IPC (no). Calculation of the value of the arithmetic mean deviation of the profile of the treated surface during semi-finishing and finishing face milling of structural carbon and low-alloy steels / A. L. Plotnikov, A. S. Sergeev, N. G. Zaitseva; VolgSTU. - 2012.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-13-17

**Д. А. Ивон Нкеуа, Ю. Л. Чигиринский, О. А. Курсин, А. А. Кожевникова**

### **ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: slonel@mail.ru

Рассмотрена возможность совершенствования технологии процесса хонингования, направленной на повышение точности геометрической формы и обеспечение требуемого микрорельефа обработанной поверхности. Абразивная отделочная обработка изделий из низкоуглеродистых сталей сопряжена с проблемами, обусловленными повышенной пластичностью и вязкостью конструкционного материала – «рваная» обработанная поверхность, засаливание и повышенная интенсивность изнашивания абразивных брусков и, как следствие, невысокая геометрическая точность обработки. Известны методы кратковременного повышения твердости (снижения вязкости и пластичности) поверхностного слоя заготовки, такие как наводороживание, термическая обработка и, в частности, криогенная обработка. Рассматривается метод хонингования с предварительной криогенной обработкой, дающий повышение качества обработанной поверхности изделий из низкоуглеродистых сталей.

**Ключевые слова:** хонингование, качество поверхности, низкоуглеродистая сталь, криогенная обработка, абразивная обработка.

*J. A. Yvon Nkeoua, Yu. L. Tchigirinsky, O. A. Kursin, A. A. Kozhevnikova*

# INFLUENCE OF THE MAIN PARAMETERS OF CRYOGENIC TREATMENT ON SURFACE ROUGHNESS DURING HONING OF PRODUCTS MADE OF LOW-CARBON STEELS

Volgograd State Technical University

The possibility of improving the technology of the honing process, aimed at increasing the accuracy of the geometric shape and ensuring the required microrelief of the treated surface, is considered. Abrasive finishing processing of products made from low-carbon steels is associated with problems caused by the increased plasticity and viscosity of the structural material - "torn" processed surface, clogging and increased wear rate of abrasive bars and, as a consequence, low geometric accuracy of processing. There are known methods for short-term increase in hardness (reduction of viscosity and plasticity) of the surface layer of the workpiece, such as hydrogenation, heat treatment and, in particular, cryogenic treatment. The method of honing with preliminary cryogenic treatment is considered, which improves the quality of the machined surface of products made of low-carbon steels.

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

Низкоуглеродистые стали находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Высокая механическая устойчивость к низким температурам позволяет использовать изделия из этих сталей на севере России. Высокая антикоррозийная стойкость обуславливает использование их в химической промышленности. Финишным этапом обработки многих деталей из подобных сталей является хонингование. Однако хонингование «мяг-

кой» нержавеющей стали 12X18H10T и морозостойкой стали 09Г2С дает плохое качество поверхности: образуются наплывы вдоль следа обработки и появляются задиры.

Различными исследованиями [1–5] доказано, что характеристики микрорельефа хонингованных поверхностей зависят от твердости материала заготовки (рис. 1), что указывает на необходимость повышения твердости поверхности перед обработкой.

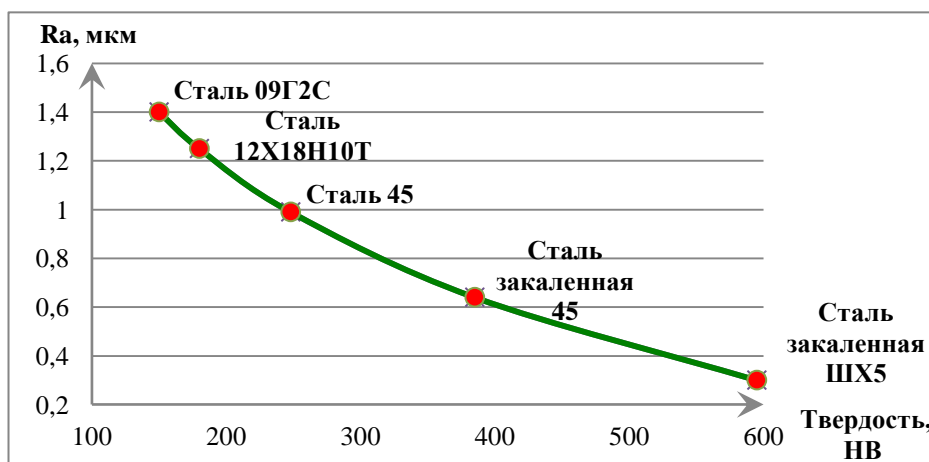


Рис. 1. Зависимость шероховатости Ra поверхности от ее твердости

Однако закалка при температуре 970 °С приводит к тепловым деформациям крупногабаритных изделий. Из этого следует, что перед финишной обработкой крупногабаритных гидро- и пневмоцилиндров изделия из низкоуглеродистых сталей нужно только производить криогенную обработку [6].

С целью устранения этих недостатков, разработан нами новый метод хонингования с предварительной криогенной обработкой. Данный метод 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 [7]. 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.

Метод хонингования с предварительной криогенной обработкой исследовался на хонинговальном станке модели ОФ-38А (рис. 2).





Рис. 2. Установка для хонингования с предварительной КО

Для получения объективной оценки влияния параметров метода криогенной обработки, на шероховатость поверхностного слоя обрабатываемой детали проводили профилографирование исследуемой поверхности на участке длиной  $L = 4$  мм.

В качестве инструмента применяется, как указано выше, профилометр «Абрис ПМ-7», который соответствует классу шероховатости ГОСТ 2789–73.

Хотелось бы подметить, что все операции велись на одном станке, одним и тем же инструментом.

Сталь 09Г2С: Часть профилограммы обрабатываемой хонингованием поверхности изделия из стали 09Г2С представлена на рис. 3.

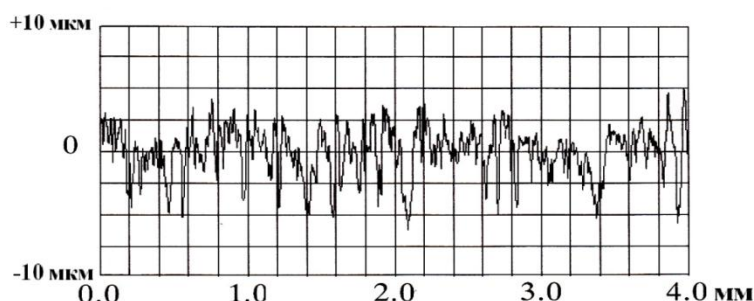


Рис. 3. Профилограмма обработанной поверхности стали 09Г2С хонингованием без предварительной криогенной обработки

Данная профилограмма получена при режимах: давление разжима хонбрусков  $P = 0,4$  МПа, скорость возвратно-поступательного движения хонголки  $V_{в.п.} = 8$  м/мин, скорость вращения  $V_{вр} = 45$  м/мин. Полученный параметр шероховатости составляет  $Ra = 1,343$  мкм.

Можно заметить, что поверхность характеризуется наличием большой разновысотности, профиль выступов имеет небольшой угол, то есть представляет собой узкий угол среза, радиусы кривизны которого невелики. Это может быть оправдано тем, что поверхность, образованная хонбрусом, также характеризуется высокими выступами и глубокими острыми впа-

динами, которые при больших динамических нагрузках могут служить концентратором напряжений и источником растрескивания.

Также представлена на рис. 4 часть профилограммы поверхности, полученной после хонингования с предварительной криогенной обработкой.

Данная профилограмма получена при режимах:  $P = 0,4$  МПа,  $t = 2$  мин;  $V_{в.п.} = 8$  м/мин,  $V_{вр} = 45$  м/мин; время выдержки в жидком азоте  $t = 12$  ч; температура выдержки  $T = -196$  °С. Полученный параметр шероховатости составляет  $Ra = 0,742$  мкм.

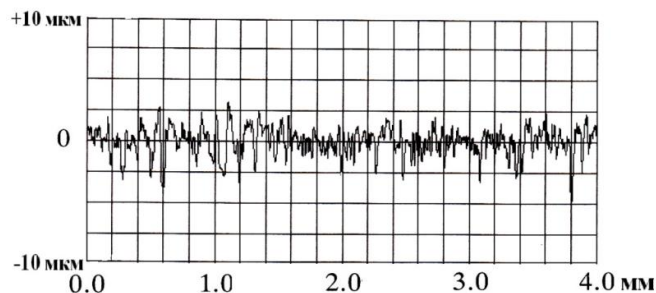


Рис. 4. Профилограмма обработанной поверхности стали 09Г2С хонингованием с предварительной криогенной обработкой

Из профилограммы можно констатировать: наличие меньшей высоты микронеровностей, углубления характеризуются более мягкими краями, дно углублений имеет большие радиусы кривизны, поверхность также характеризуется большей многовысотностью.

Сталь 12X18H10T: Часть профилограммы обрабатываемой поверхности хонингованием стали 12X18H10T представлена на рис. 5.

Данная профилограмма получена при режи-

мах:  $P=0,4$  МПа,  $V_{в.п.}=8$  м/мин,  $V_{вр}=45$  м/мин. Полученный параметр шероховатости  $Ra=1,143$  мкм.

Далее, глядя на профилограмму, можно заметить, что поверхность также характеризуется наличием больших микронеровностей, радиусы кривизны которого невелики.

Также представлена на рис. 6 часть профилограммы поверхности, полученной после хонингования данной стали с предварительной криогенной обработкой.

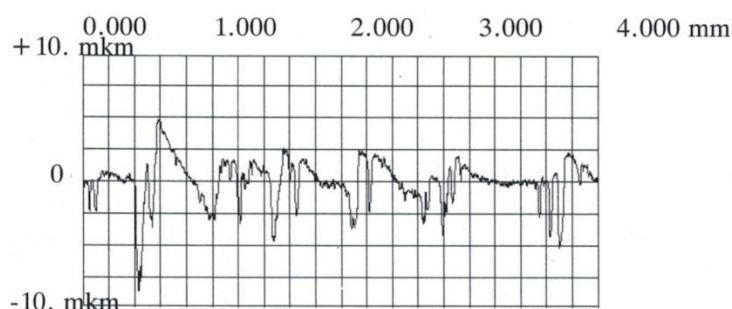


Рис. 5. Профилограмма обработанной поверхности стали 12X18H10T хонингованием без предварительной криогенной обработки

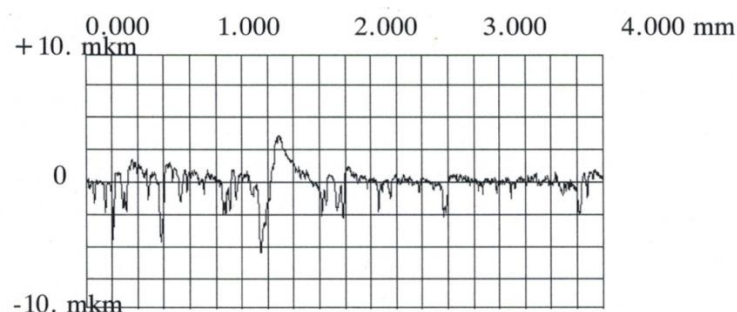


Рис. 6. Профилограмма обработанной поверхности стали 12X18H10T хонингованием с предварительной криогенной обработкой

Данная профилограмма получена при режиме:  $P = 0,4$  МПа,  $t = 2$  мин;  $V_{в.п.} = 8$  м/мин,  $V_{вр} = 45$  м/мин;  $t = 12$  ч;  $T = -196$  °С. Полученный параметр шероховатости составляет  $Ra=0,802$  мкм.

В результате исследований установлено, что новый метод позволяет снизить параметр шероховатости  $Ra$  до 30 % на низкоуглеродистых сталях.

Кроме того, метод позволяет достичь повышения твердости на момент абразивной обработки в результате частичной трансформации аустенита в мартенсит, повысить твердость и износостойкость сталей за счет роста числа карбидов железа, а также метод дает возможность избежать тепловые деформации изделий и сократить энергозатраты.

Таким образом можно сделать вывод, что направлением повышения эффективности процесса хонингования при обработке низкоуглеродистых сталей является предварительная криогенная обработка. Так как, криогенная обработка позволяет повысить прочностные характеристики сталей, качество поверхности при финишной абразивной обработке и, как следствие, повысить надежность и ресурс изделий.

Способ может значительно увеличить срок службы изделия и его конкурентоспособность в результате значительного повышения качества поверхности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солнцев, Ю. П. Конструкционные стали и сплавы для низких температур / Ю. П. Солнцев, Г. А. Степанов. – М. : Металлургия, 1985. – 271 с.

2. 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.

3. Мельникова, Е. П. Влияние технологических факторов финишной абразивной обработки на качество поверхности / Е. П. Мельникова // Технология машиностроения. – М. : Машиностроение, 2003. – № 3. – С. 13–16.

4. Кудояров, Р. Г. Повышение качества деталей при алмазном хонинговании / Р. Г. Кудояров // Станки и инструменты. – М. : Машиностроение, 2006. – № 5. – С. 35–37.

5. Маталин, А. А. Шероховатость поверхности деталей в приборостроении / А. А. Маталин. – М. : Машгиз, 1949. – 197 с.

6. Исследование закономерностей формирования микропрофиля обработанной поверхности при хонинговании с предварительной криогенной обработкой / Нкеуа Д. А.

Ивон, Ю. Л. Чигиринский, О. А. Курсин, А. А. Жданов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 13–16. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-13-16.

7. Studying the Process of Honing with Preliminary Cryogenic Treatment of Products from Low-Carbon Steels / Нкеуа Д. А. Ивон, О. А. Курсин, А. А. Жданов, М. Ю. Поляничкова, А. Соловьев // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022 (May 16-20, 2022 ; virtual conference) / eds.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov ; Moscow Polytechnic University, Tula State University, Volgograd State Technical University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2023. – P. 944-954. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125-6\\_92](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125-6_92). – (Book ser. Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME).

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-17-21

**Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов**

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ВАЛОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С БОЛЬШОЙ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ**

**Волгоградский государственный технический университет**

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

Рассматриваются методика и результаты экспериментального определения податливости валов механической коробки перемены передач (КПП) с зубчатыми муфтами для переключения передач гусеничной машины (ГМ) массой 7,2 тонны, работающей от дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мощностью 240 л.с.

*Ключевые слова:* дизельный ДВС, КПП, ГМ, податливость валов.

**Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov**

# **DETERMINATION OF THE COMPLIANCE OF SHAFT OF A MECHANICAL GEARBOX OF A TRACKED VEHICLE WITH HIGH SPECIFIC POWER**

**Volgograd State Technical University**

The method and results of the experimental determination of the compliance of the shafts of a mechanical gearbox with gear couplings for shifting gears of a tracked vehicle weighing 7.2 tons, powered by a diesel internal combustion engine with a power of 240 hp are considered.

*Keywords:* diesel internal combustion engine, gearbox, tracked vehicle, shaft compliance.

Податливость валов коробки перемены передач (КПП) – исходная величина для расчета собственных частот колебаний трансмиссии [1, 2, 3]. Расчетным путем определить податливость сложных деталей и, особенно соединений (шлицевых, зубчатых и т. д.), можно только с большой степенью приближения, что определяет и приближенный результат расчета собственных частот колебаний. На рис. 1 приведена кинематическая схема исследуемой механической трансмиссии с зубчатыми муфтами для включения передач гусеничной машины (ГМ) массой 7,2 тонны, работающей от дизельного

двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мощностью 240 л.с. с максимальной частотой вращения 2400 мин<sup>-1</sup>. В таблице приведены передаточные отношения КПП соответственно номеру передачи.

**Передаточные отношения КПП**

Передача	$i_{кп}$	$i_{цп}$	$i_{кпп}$
I	1,444	2,8	4,043
II		0,965	1,383
III		0,583	0,842
IV		0,39	0,565



меров углов поворота валов крепятся в отверстиях, имеющихся в конструкции валов. Рычаг 4 длиной  $L$  крепится на внутренний барабан бортового фрикциона, посаженный на шлицы грузового вала.

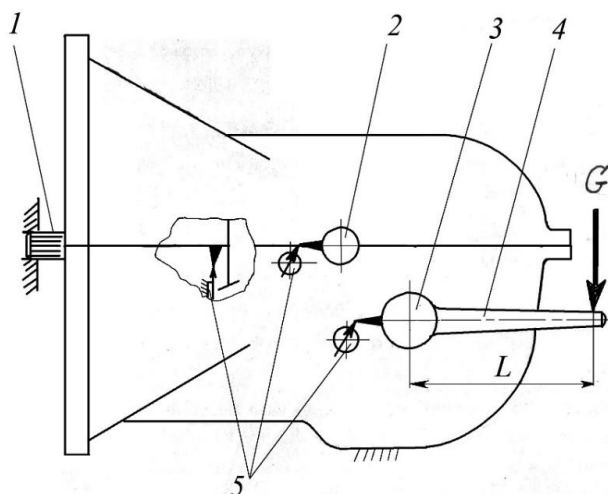


Рис. 2. Схема замеров податливости элементов КПП механической трансмиссии ГМ:  
1 – ведущий вал; 2 – промежуточный вал; 3 – грузовой вал;  
4 – рычаг; 5 – механические индикаторы;  $G$  – вес груза;  
 $L$  – длина рычага действия груза  $G$

2. Нагружать грузовой вал КПП крутящим моментом  $M = G \cdot L$  в диапазоне  $0-20^3$  Нм через каждые  $10^2$  Нм.

3. Замерять показания индикаторов  $\delta$  на кон-

цах каждой стрелки–указателя ведущего, промежуточного и грузового валов КПП на каждой передаче при заданном значении крутящего момента  $M$ , приложенного к концу грузового вала КПП. Замеры на входном валу осуществляются через окно в верхней части корпуса КПП. Результаты замеров  $\delta_{1л}$ ,  $\delta_{1п}$ ,  $\delta_{2л}$ ,  $\delta_{2п}$ ,  $\delta_{3с}$  и соответствующее им значение  $G$  на каждой включенной передаче КПП занести в таблицу. Повторить указанные замеры при разгрузке конца грузового вала КПП через каждые  $\Delta M = 10^2$  Нм. Замеры произвести для каждой включенной передачи КПП не менее трех раз.

4. С помощью крутящих моментов, прикладываемых к концу грузового вала, и углов поворота концов валов определяются податливости валов КПП на разных передачах

$$e = \left( \frac{\delta_{лк}}{b_{лк}} - \frac{\delta_{нк}}{b_{нк}} \right) i / G_k L,$$

и плечо рычага при  $k$ -ом замере;  $\delta_{лк}$  и  $b_{лк}$  – показания левого индикатора и радиус стрелки при  $k$ -ом замере;  $\delta_{нк}$  и  $b_{нк}$  – показания правого индикатора и радиус стрелки при  $k$ -ом замере;  $i$  передаточное отношение крутящего момента от веса груза ( $M = G_k L$ ) к моменту на рассматриваемом валу.

Результаты измерений податливости валов КПП на разных передачах на стенде, приведены на рис. 3–5.

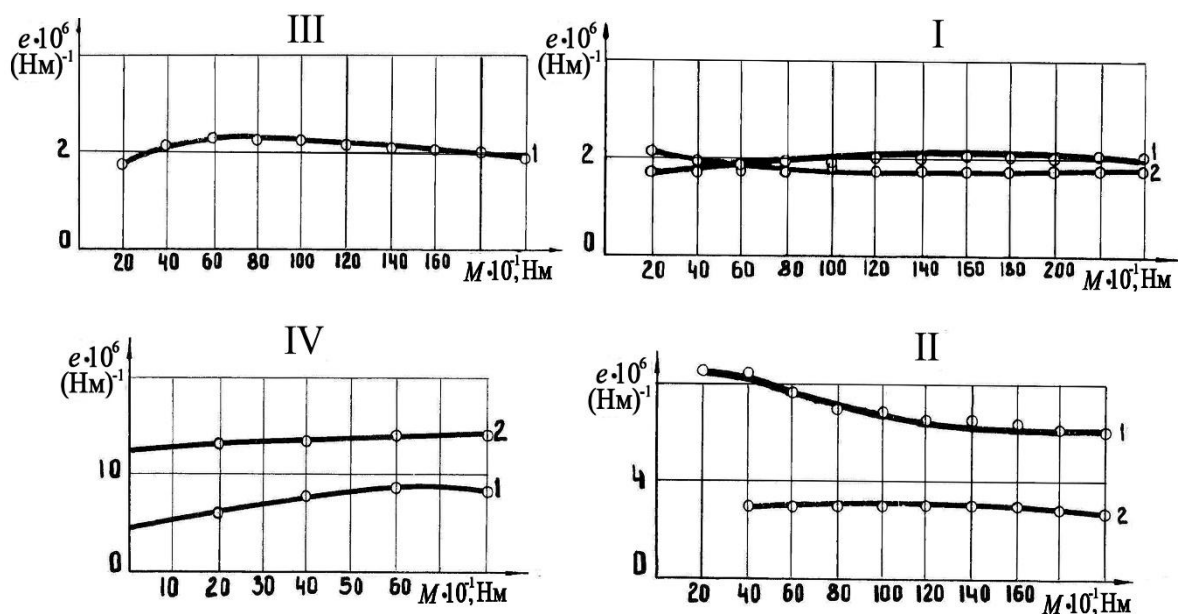


Рис. 3. Зависимости податливости  $e$  грузового вала КПП от момента закрутки  $M$  вала на разных передачах:  
I, II, III, IV – включенная передача; 1, 2 – соответственно нагрузка на правый и левый концы грузового вала

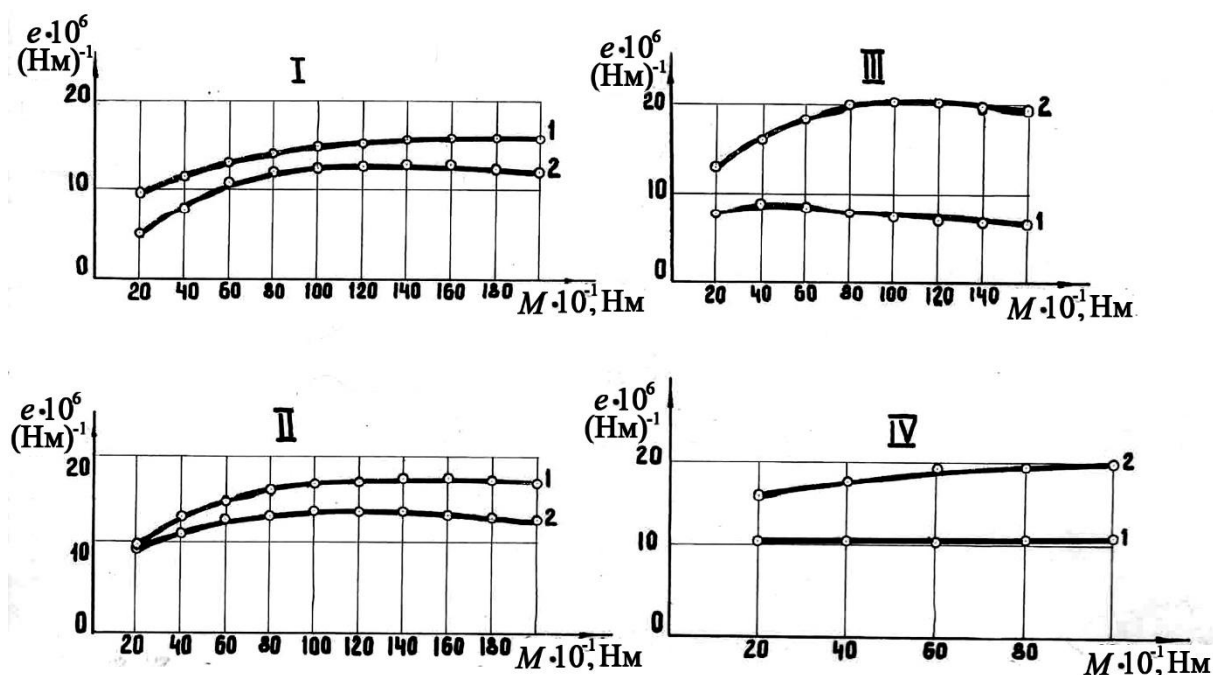


Рис. 4. Зависимости податливости  $e$  промежуточного вала КПП от момента закрутки  $M$  вала на разных передачах:  
I, II, III, IV – включенная передача; 1, 2 – соответственно нагрузка на правый и левый концы грузового вала

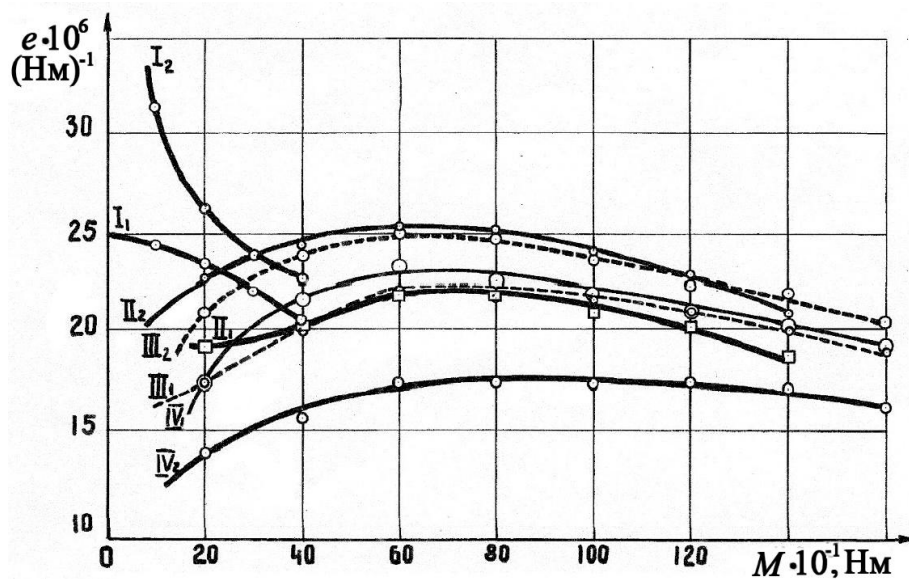


Рис. 5. Зависимости податливости  $e$  входного вала КПП от момента закрутки  $M$  вала на разных передачах:  
I, II, III, IV – включенная передача; 1 – нагрузка на свободный конец входного вала от момента, приложенного к правому концу грузового вала; 2 – нагрузка на свободный конец входного вала от момента, приложенного к левому концу грузового вала

Рассматриваемая методика проста и удобна, обеспечивает приемлемую точность определения фактической податливости всех тяжелонагруженных валов КПП на разных передачах. Полученные результаты используются для уточненных динамических расчетов трансмиссий быстроходных транспортных ГМ с большой удельной мощностью.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. Справочник / под общ. ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. Том 3. – Москва : Машиностроение, 1968. – 338 с.
2. Светлицкий, В. А. Упругие элементы машин / В. А. Светлицкий, О. С. Нарайкин. – Москва : Машиностроение, 1989. – 261 с.
3. Маслов, Г. С. Расчеты колебаний / Г. С. Маслов. – Москва : Машиностроение, 1968. – 271 с.

4. Попык, К. Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К. Г. Попык. – М. : Высшая школа, 1970. – 326 с.

5. Сцепления транспортных и тяговых машин / под ред. Ф. Р. Геккера, В. М. Шарипова, Г. М. Щеренкова. –

Москва : Машиностроение, 1989. – 340 с.

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

УДК 658.518.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-21-25

*М. Ю. Полянчикова, Р. С. Карасев, А. А. Кожевникова, И. С. Назарова*

## **АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ГАРМОНИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: MUPolyan4ikova@yandex.ru

В Российской Федерации программа национальной стандартизации формируется в соответствии с ГОСТ Р 1.14–2017, а дальнейшее совершенствование деятельности в этой области осуществляется в соответствии с Планом мероприятий («дорожной картой») развития стандартизации в Российской Федерации на период до 2027 года. В данной статье приведен анализ направлений разработки и гармонизации национальных стандартов в области систем менеджмента согласно международной практике.

*Ключевые слова:* стандартизация, гармонизация стандартов, система менеджмента, национальный стандарт, международный стандарт.

*M. Yu. Polyanchikova, R. S. Karasev, A. A. Kozhevnikova, I. S. Nazarova*

## **ANALYSIS OF DIRECTIONS FOR HARMONIZATION OF NATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF MANAGEMENT SYSTEMS WITH INTERNATIONAL PRACTICE**

**Volgograd State Technical University**

In the Russian Federation, the national standardization program is formed in accordance with GOST R 1.14–2017, and further improvement of activities in this area is carried out in accordance with the Action Plan (“road map”) for the development of standardization in the Russian Federation for the period until 2027. This article provides an analysis of the directions for the development and harmonization of national standards in the field of management systems in accordance with international practice.

*Keywords:* standardization, harmonization of standards, management system, national standard, international standard.

В Российской Федерации деятельность в области стандартизации осуществляется на основе принятых Федеральных законов: О техническом регулировании от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ [1] и О стандартизации в Российской Федерации от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ. [2]. Согласно этим законам, одной из целей стандартизации является «содействие интеграции Российской Федерации в мировую экономику и международные системы стандартизации в качестве равноправного партнера» [2, ст. 3]. Для достижения этой цели в России Постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2004 г. № 294 создано Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. На Агентство возложены функции национального органа Российской Федерации по стандартизации, среди которых [3]:

1) реализует государственную политику Российской Федерации в сфере стандартизации;

2) организует работы по стандартизации в национальной системе стандартизации, международной стандартизации и региональной стандартизации, а также по межгосударственной стандартизации;

3) организует разработку документов национальной системы стандартизации.

Согласно [2], к документам по стандартизации в РФ относятся: документы национальной системы стандартизации, общероссийские классификаторы, стандарты организаций и технические условия, своды правил, а также документы по стандартизации, которые устанавливают обязательные требования в отношении объектов стандартизации, предусмотренных статьей 6 [2], технические спецификации (отчеты).



К документам национальной системы стандартизации относятся:

- 1) основополагающие национальные стандарты и правила стандартизации;
- 2) национальные стандарты и предварительные национальные стандарты;
- 3) рекомендации по стандартизации;
- 4) информационно-технические справочники.

К объектам стандартизации относят: изделия, процессы, правила, методы или средства производства и т. д., которые служат предметом работ по стандартизации и могут быть охарактеризованы количественно и качественно с помощью условных единиц, обозначений или понятий (рис. 1).



Рис. 1. Объекты стандартизации

Для достижения целей взаимозаменяемости продукции, взаимного принятия результатов испытаний в России осуществляется деятельность по гармонизации стандартов. Под гармонизацией стандартов понимают [4] приведение их содержания в соответствие с другими стандартами для обеспечения взаимозаменяемости продукции (услуг), взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах. В зависимости от нормативного документа, относительно которого гармонизируется стандарт, различаются уровни гармонизации: международный и региональный. Стандарты, гармонизированные на международном уровне, гармонизованы с международным стандартом. Стандарты, гармонизованные на региональном уровне, гармонизованы с региональным стандартом.

Гармонизация нередко проводится в рамках двусторонних или многосторонних соглашений. Стандарты, гармонизованные на много-

сторонней основе, гармонизованы тремя или более органами по стандартизации. Стандарты, гармонизованные на двусторонней основе, гармонизованы двумя органами, занимающимися стандартизацией.

Приказом Росстандарта от 31 октября 2023 г. № 2279 утверждена Программа национальной стандартизации на 2024 год [5]. Согласно Программе, для возвращения технологического лидерства, а также формирования устойчивого вектора развития российской экономики работы в области национальной стандартизации будут осуществляться в следующих приоритетных направлениях: атомная промышленность; технологии безопасного обращения с радиоактивными отходами, отработавшим ядерным топливом; высокотехнологическая химия; композитные и неметаллические материалы; модернизация машиностроительного комплекса, в том числе тяжелого и транспортного машиностроения; авиационная и судостроительная про-



мышленность; космические технологии; телекоммуникационные и информационные технологии; технологии, основанные на применении спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС; медицинские изделия; медицинские технологии и фармацевтика; биотехнологии; нанотехнологии; энергоэффективность; развитие техники и технологий в нефтегазовой и горнорудной отраслях; строительство; создание "интеллектуальных" сетей и цифровых подстанций в электроэнергетике, направленных в том числе на обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения, сокращение издержек, повышение производительности и энергоэффективности электросетевого комплекса страны; обеспечение безопасности труда и сохранения здоровья в части установления технических требований к продукции; развитие услуг, в том числе производственных, для социально незащищенных слоев общества; повышение устойчивости работы систем жизнеобеспечения, в том числе жилищно-коммунального хозяйства; обеспечение безопасности и повышение конкурентоспособности продукции легкой промышленности; обеспечение

безопасности и повышение конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса, в том числе развитие органического сельского хозяйства; развитие транспортной отрасли; обеспечение безопасности дорожного движения; гражданская оборона и технологии защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также обеспечение пожарной безопасности; менеджмент предприятий, оценка соответствия, защита прав потребителей; охрана окружающей среды, в том числе регулирование природоохранной деятельности, определение уровней вредных воздействий на окружающую природную среду и человека, экологическая оценка и экологическое управление деятельностью субъектов хозяйствования, методология оценки риска для здоровья и окружающей среды, а также утилизация продукции и отходов производства.

В статье рассмотрены стандарты, гармонизация которых запланирована на 2024 год, на международном уровне. Индикаторы Программы национальной стандартизации на 2024 год приведены в таблице.

Программа национальной стандартизации на 2024 год [5]

№	Наименование	Число проектов на 2024 г.	Из них:			
			не имеют аналогов	модернизированные	идентичные международным	не эквивалентны
0	Общетеchnический	502	310	51	134	7
1	Топливо-энергетический	54	33	13	1	7
2	Машиностроение	1223	947	88	155	33
3	Металлургический	151	134	8	7	2
4	Нефтехимический	23	13	4	6	0
5	Химический	169	94	20	52	3
6	Лесотехнический	46	22	2	10	12
7	Агропромышленный	391	352	2	37	0
8	Легкая промышленность	137	68	10	50	9
9	Услуги	89	87	0	2	0
10	Здравоохранение	259	111	32	110	6
11	Информационные технологии	561	425	27	65	44
12	Приборостроительный	88	76	1	3	8
13	Строительство	389	344	8	30	7
14	Тара и упаковка	27	10	0	17	0
15	Электротехнический	529	330	32	164	3
16	Социальный	172	136	7	29	0
17	Метрологический	168	150	10	8	0

На рис. 2 приведены данные для анализа направлений гармонизации национальных стандартов из общего числа стандартов, запланированных к разработке.

На рис. 3 приведены сведения по разработке стандартов в области систем менеджмента на 2024 год.

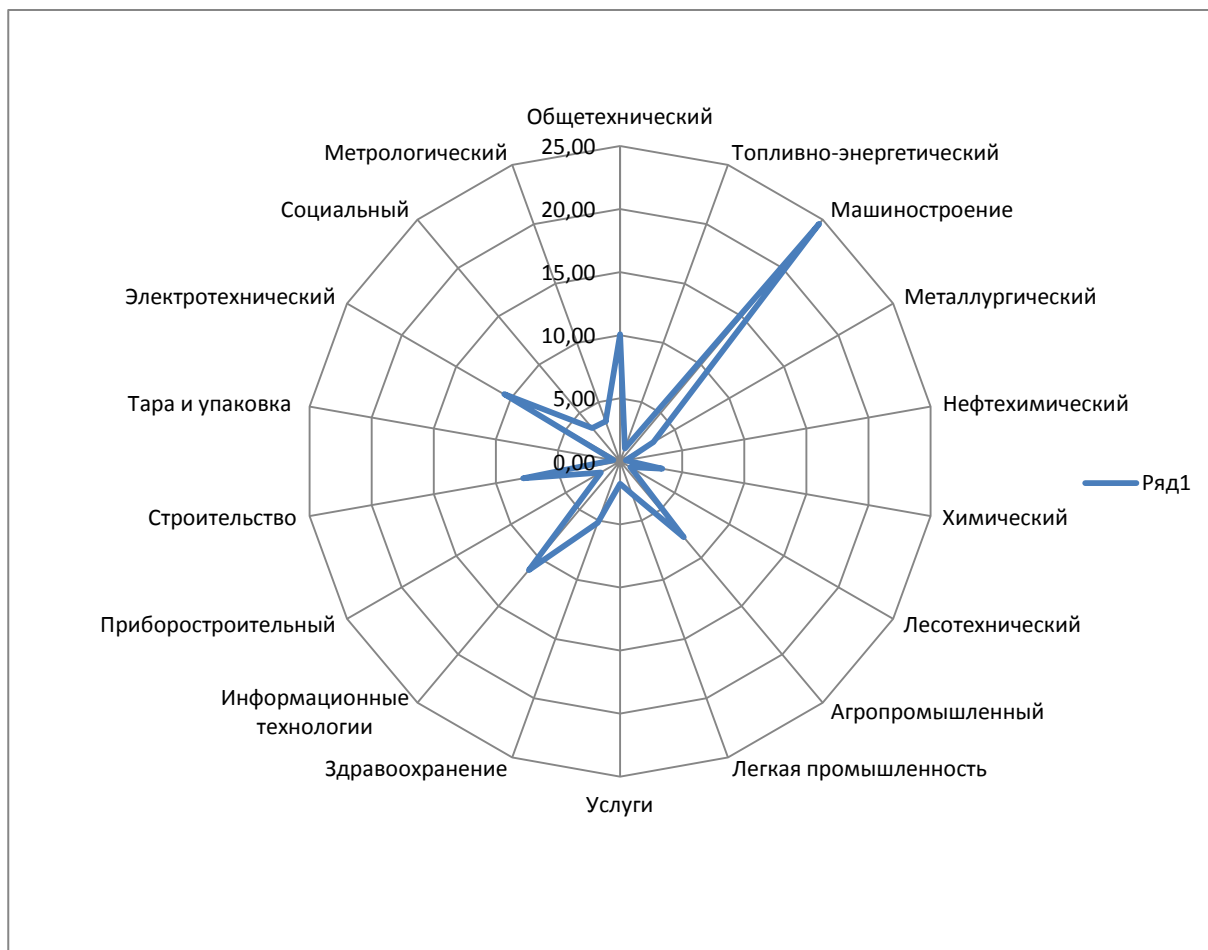


Рис. 2. Гармонизация стандартов в приоритетных областях развития России на 2024 г., в процентах

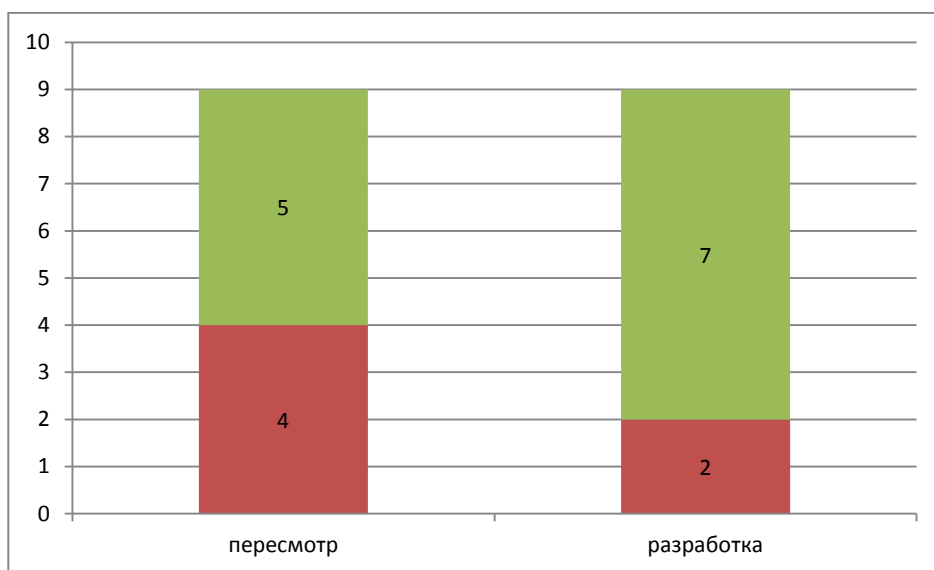


Рис. 3. Гармонизация стандартов в области систем менеджмента в России на 2024 г., в ед.

Как видно из рис. 2, основное направление совершенствования базы национальных стандартов – машиностроительная отрасль, в которой процент гармонизации составляет 12,7 %, а основная доля (77,5 %) – вновь разрабатываемые стандарты. Такая тенденция полностью соответствует основному вектору развития современной России. Стандарты в области систем менеджмента разрабатываются ТК 076 (Системы менеджмента) и относятся к общетехнической сфере. Основными направлениями гармонизации является серия международных стандартов ISO 10000 (ISO 10008:2022, ISO 10010:2022, ISO 10013:2021, ISO/TS 10020:2022, ISO/DIS 10009, ISO/CD 10012), ISO 20000 (ISO 20700:2017) и ISO 30000 (ISO 30002:2010, ISO 30003:2009, ISO 30006:2010).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Законы. О техническом регулировании : Федеральный закон № 184-ФЗ : [принят Государственной думой 15 декабря 2002 года : одобрен Советом Федерации 18 декабря 2002 года]. – Электронный ресурс.
2. Российская Федерация. Законы. О стандартизации в Российской Федерации : Федеральный закон № 162-ФЗ : [принят Государственной думой 19 июня 2015 года : одобрен Советом Федерации 24 июня 2015 года]. – Электронный ресурс.
3. Российская Федерация. Законы. О Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии : Постановление Правительства РФ от 17 июня 2004 г. – Электронный ресурс.
4. Левина, Т. Ю. Метрология и стандартизация : учеб. пособие / Т. Ю. Левина, У. М. Курако. – Саратов : Вавиловский университет, 2022. – 67 с.
5. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost> (дата обращения: 19.01.2024). – Текст : электронный.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-25-30

*В. В. Стражев, Е. М. Фролов, Ю. Л. Чигиринский, А. В. Рогачев*

#### ОБЗОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: strazhev.v@yandex.ru

В работе проанализированы методы повышения качества лезвийной обработки, разделенные на три группы: организационные методы, реализованные на этапе подготовки производства; организационные методы, реализованные на этапе механической обработки; технологические методы.

*Ключевые слова:* качество поверхности, стабильная обработка, проблемы при лезвийной обработке, методы обработки.

*V. V. Strazhev, E. M. Frolov, Yu. L. Tchigirinsky, A. V. Rogachev*

#### REVIEW OF METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF LAPE PROCESSING

Volgograd State Technical University

The work analyzes methods for improving the quality of blade processing, divided into three groups: Organizational methods implemented at the preparation stage; Organizational methods implemented on the machine; Technological methods.

*Keywords:* surface quality, stable processing, problems in blade processing, processing methods.

#### Актуальность исследования

Постоянное повышение требований к изделиям машиностроения влечет за собой изменение номенклатуры материалов, обработка которых требует новых подходов и совершенствования технологий [4,5], разработку новых режущих материалов, способных работать в тяжелых условиях обработки [1], построение новых математических моделей, описывающих процессы лезвийной обработки, развитие автоматизированных систем поддержки маршрутно-операционного проектирования и т. д. В на-

стоящее время лезвийная обработка продолжает оставаться наиболее распространенным способом формирования формы и качества поверхностей деталей машиностроительных изделий и от ее качества зависит итоговое качество получаемых продуктов.

Рассмотренные в статье методы распределялись согласно алгоритму, так как разработать четкую и, в особенности, долгосрочную классификацию представляется затруднительным в виду достаточно интенсивного и разнонаправленного развития отрасли (рисунок).

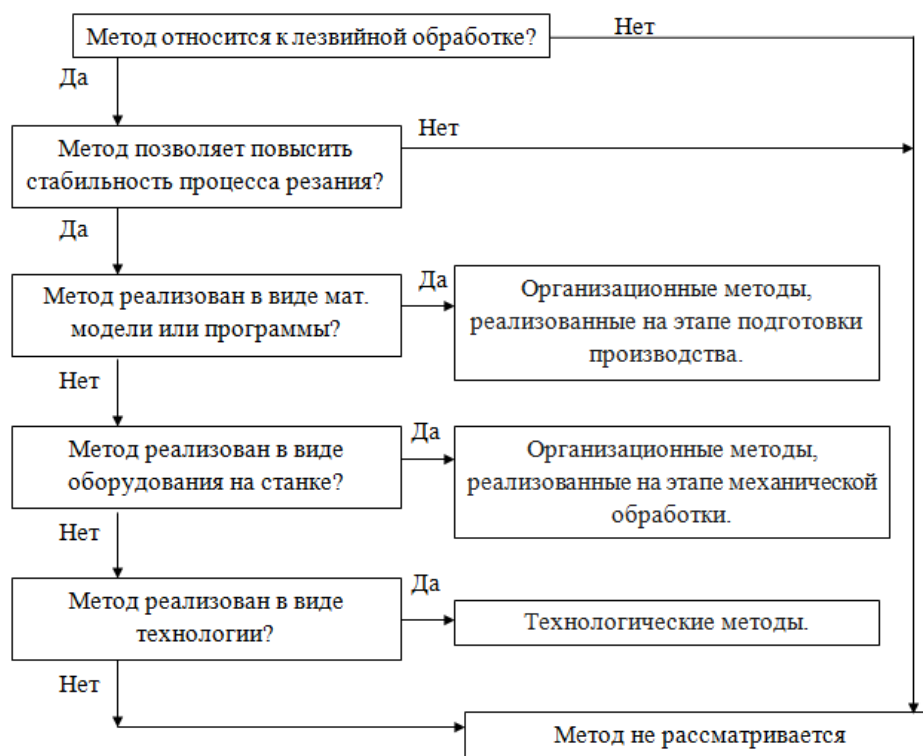


Схема распределения методов повышения качества лезвийной обработки

#### Организационные методы, реализованные на этапе подготовки

В работе [12] А. Р. Ингеманссон отмечает, что нестабильность процесса лезвийной обработки выражается в колебаниях температурно-силовых характеристик стружкообразования и контактного взаимодействия, вследствие чего отсутствует стабильное получение качества поверхности и работоспособности режущего инструмента. Автор выделяет следующие факторы, влияющие на возмущение системы: непостоянство физико-механических свойств обрабатываемого материала, непостоянство припуска, колебания жесткости, температурные деформации элементов технологической системы, изнашивание режущего инструмента. На основе результатов многоуровневых полных факторных экспериментов автором были построены математические зависимости для определения величины подачи, обеспечивающей шероховатость обработанной поверхности, требуемую техническими требованиями к готовому изделию.

В работе [3] авторы *Guillem Quintana* и *Joaquim Ciurana* провели глубокий литературный обзор проблем вибраций, возникающих во время лезвийной обработки. Так, определены три вида колебаний, возникающих в процессе обработки, которые влекут за собой три различных типа механических вибраций:

– свободные колебания, возникающие из-за разбалансировки механической системы. При съеме металла эти свободные вибрации появляются, например, в результате неправильного определения траектории инструмента, что приводит к столкновению режущего инструмента с заготовкой;

– вынужденные колебания, которые возникают из-за гармонических возбуждений. Основным источником вынужденных вибраций в процессах фрезерования является вход режущей кромки в заготовку и выход из нее. Однако вынужденные вибрации также связаны, например, с несбалансированными подшипниками или режущими инструментами, либо могут передаваться от других станков через пол цеха;

– самовозбуждающиеся колебания, возникающие в результате взаимодействия между режущим инструментом и заготовкой во время процесса обработки. Этот тип вибрации приводит систему к неустойчивости и является наиболее нежелательным и наименее контролируемым.

Авторы выделили четыре стратегии устранения возникающих колебаний:

1) стратегии прогнозирования, оценки или идентификации *SLD (Stability Lobe Diagrams* англ. – диаграммы устойчивости) посредством моделирования процесса обработки и аналитически-экспериментальных методов;

2) стратегии, посредством сенсорных технологий, мониторинга процесса и обработки сигналов выявляющие или распознающие вибрации;

3) пассивные стратегии, изменяющие или модифицирующие поведение системы и улучшающие ее производительность, удаляя колебания.

4) активные стратегии, которые ориентированы на использование элементов, устройств или исполнительных механизмов, которые активно изменяют поведение системы для подавления колебаний, как только они возникают.

В работе [13] авторы В. В. Краев и Г. Г. Крушенко отмечают, что на этапе разработки технологического процесса часто завышаются припуски на механическую обработку, что влечет за собой перерасход материала, износ инструмента, увеличение трудоемкости и электроэнергии. Припуски назначают на основе нормативных величин и справочных материалов, без учета состояния поверхностного слоя заготовки. Следовательно, существует потребность в назначении минимально необходимого припуска на механическую обработку.

Так для решения этой проблемы авторы разработали методику расчета припусков и допусков на механическую обработку.

В работе [14] авторы исследовали структуры схем процесса резания, в результате чего разработали структурную схему взаимосвязей входных параметров процесса резания, которая может быть использована для разработки систем управления, совершенствования математического моделирования и оптимизации процессов резания.

В работе [7] авторы разработали 3D модель процесса сверления отверстия диаметром 30 мм и определили факторы, оказывающие наибольшее влияние на возникновение вибрации, влияющей на формирование обработанной поверхности. А именно, длина державки инструмента, скорость подачи, скорость резания, величина волнистости поверхности заготовки. Так же авторами разработана нейросеть, которая предсказывает силу резания и шероховатость, на основе длины державки, величины волнистости поверхности заготовки, скорости резания, подачи. Точность составила 91 % для силы резания и 80 % для шероховатости. Авторы отмечают, что ошибка прогнозирования все еще велика и необходимо увеличить количество исходных данных для обучения нейросети.

#### **Организационные методы, реализованные на этапе механической обработки**

При расчете параметров процесса лезвийной обработки металла возникает неточность из-за использования усредненных значений безразмерных силовых, скоростных и поправочных коэффициентов на свойства обрабатываемого материала и материала режущего инструмента. Разность расчетных и фактических значений параметров процесса лезвийной обработки может достигать полуторной или даже двукратной величины. Решением этой проблемы может быть предварительная оценка физико-химических свойств каждой конкретной контактной пары инструмент – обрабатываемый материал по величине термоЭДС посредством интеллектуального устройства, позволяющего получить наиболее точные числовые значения частоты вращения и подачи, так как при расчете учитываются возможности станка, режущие возможности инструмента, состояние заготовки [10–11]. Определение оптимальных режимов интеллектуальным устройством и внесение их в УЧПУ станка в автоматическом режиме позволяет уменьшить время технологической подготовки производства, а также исключить риск возникновения ошибки из-за человеческого фактора [18, 20–25].

При обработке сварных соединений разных материалов переход инструмента из одного материала в другой сопровождается возникновением вынужденных колебаний. Вследствие этого возникают глубокие риски и задиры, что, как правило, недопустимо. Для решения этой проблемы авторы работы [9] спроектировали и запатентовали оправку для черновой и чистовой обработки глубоких отверстий в сплавах переменной структуры. Авторы отмечают, что применение оправки повышает стабильность процесса обработки посредством снижения высокочастотных колебаний инструмента, вследствие чего повышается точность и качество внутренних поверхностей.

В настоящее время лезвийной обработке подвергают не только изделия из сталей и сплавов. В работе [8] автор выдвигает научную гипотезу, что при обработке биоинженерных полимеров применим такой состав СОТС, который, улучшает отвод тепла, снижает трение и адгезию за счет «залечивания» дефектов поверхностного слоя непосредственно в процессе механической обработки за счет химического связывания свободных радикалов, образу-

щихся при разрушении полимера. Разработаны составы СОТС с ингибиторами свободных радикалов. Лучший результат показал трехпроцентный раствор РЕФ с третил-бутиловым спиртом. Этот раствор снижает уровень свободных радикалов в 1,6–2,3 раза по сравнению со стандартным составом СОТС, обеспечивая необходимую шероховатость поверхности и повышая долговечность готовых изделий.

#### Технологические методы

В работе [6] исследуется обработка сплава на основе никеля Inconel 625 с применением метода предварительного пламенного нагрева. Исследование показало, что силы, действующие на режущий инструмент ниже при нагреве, чем в условиях обработки при комнатной температуре. Увеличение температуры нагрева уменьшает толщину стружки и увеличивает ее ширину по сравнению с формированием стружки при комнатной температуре. Наибольшая стойкость инструмента наблюдается при высоких скоростях резания и высокой температуры нагрева.

В работе [26] исследуется противоположный описанному выше метод обработки. Для повышения обрабатываемости сплава Inconel 625 рассматривали методы минимального количества смазки *MQL* (*Minimum quantity lubrication* англ. – минимальное количество смазки), криогенного охлаждения жидким азотом (LN2) и гибридного метода *CryoMQL* (*Hybrid cooling/lubrication* (*MQL+Cryogenic*) англ. – гибридное охлаждение/смазка (минимальное количество смазки + криогенная обработка)). Гибридная стратегия охлаждения/смазки (*CryoMQL*) показала лучшие шероховатость Ra и топографию поверхности (наименьшая высота от пика до впадины).

В процессе лезвийной обработки желательно иметь сливную стружку, так как она характеризует устойчивость технологической системы, обеспечивает высокое качество обработанной поверхности и стойкость инструмента. Однако сливная стружка является одной из причин преждевременного износа или поломки станков и приспособлений, а также порчи изделия из-за возможного наматывания стружки. При лезвийной обработке существует необходимость формирования стружки с заданной длиной.

В работе [15] авторы для получения требуемой стружки изучают метод предварительного локального пластического взаимодействия

ЛПВ по внешней поверхности срезаемого слоя, основанный на использовании явления деформационного воздействия на поверхность, позволяющий обеспечить периодическое изменение условий обработки по сравнению с исходным состоянием материала. Ими разработаны и реализованы расчетные модели в виде компьютерных программ управления процессом стружкодробления на основе метода ЛПВ обрабатываемого материала и алгоритмов автоматизации выбора метода и параметров ЛПВ.

В работе [16] описано исследование точения фасонных поверхностей с использованием двухрезцовой схемы. Теоретически и практически подтверждено, что при применении двухрезцовой схемы с встречным расположением резцов удастся уменьшить погрешности размеров и формы сечения обрабатываемой поверхности кольцевых канавок. Экспериментально подтверждена возможность достижения требуемых параметров точности и качества поверхности при использовании различных технологических схем обработки. Также разработана математическая модель, учитывающая относительные вибрации инструмента и обрабатываемой заготовки.

В работе [17] приводятся результаты экспериментов по применению комплексного технологического процесса изготовления деталей из алюминиевых сплавов системы Al-Mg. Описанный технологический процесс включает в себя ковку прутковых заготовок по различным схемам с различными температурными параметрами, стабилизирующий отжиг, с последующим охлаждением поковок на воздухе, токарную обработку. Были проведены динамометрические и металлографические исследования для измерения твердости и шероховатости обработанной поверхности образцов. Автор отмечает, что применение равномерной деформационной обработки позволяет получить сбалансированный комплекс технологических и специальных свойств. Обрабатываемость и качество поверхности заготовок резанием улучшаются за счет повышенной твердости материала заготовки.

#### Выводы

В работе проанализированы и разделены на три группы различные методы повышения качества лезвийной обработки. В группе организационных методов, реализуемых на этапе подготовки производства, предлагается применение

ние новых математических моделей, стратегий управления вибрациями, методик расчета параметров технологических операций, применение нейросетей для прогнозирования результатов обработки. В группе организационных методов, реализованных на этапе механической обработки, предлагается применение предварительного оценивания физико-механических свойств контактной пары инструмент-деталь, применение технологической оснастки новых конструкций, различные виды СОТС. В группе технологических методов предлагается применение пламенного нагрева или охлаждения заготовки, предварительной деформационной обработки, различных схем обработки.

Следует отметить, что исследования в машиностроительной отрасли в части повышения качества лезвийной обработки разносторонние, затрагивают, в том числе обработку неметаллических материалов и рассматривают актуальное в настоящее время применение искусственного интеллекта для решения прикладных задач.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Analyses of Tool Wear and Chip Type for Different Coated Carbide Inserts in Turning Hardened 1.6582 Steel / Karel Šramhauser, Nataša Náprstková, Jan Svianteck, Dana Stan'ceková, Nguyen Van Tuong, Jan Novotný // *Coatings*. – 2022. – № 12(7), 974. <https://doi.org/10.3390/coatings12070974>
2. The Influence of Galvanizing on the Surface Quality and Part Precision of S235J0 Alloy Machined by Turning / Sandor Ravai-Nagy, Aurel Mihail Titu, Alina Bianca Pop // *Coatings*. – 2023. – № 13(4), 701. <https://doi.org/10.3390/coatings13040701>
3. Chatter in machining processes: A review / Guillem Quintana, Joaquim Ciurana // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2011. – № 51(5), С.363–376. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.01.001>
4. Finishing Turning of Ni Superalloy Haynes 282 / José Díaz-Álvarez, Antonio Díaz-Álvarez, Henar Miguélez, José Luis Cantero // *Metals*. – 2018. – №8(10), 843. doi:10.3390/met8100843
5. Sustainable High-Speed Finishing Turning of Haynes 282 Using Carbide Tools in Dry Conditions / Antonio Díaz-Álvarez, José Díaz-Álvarez, José Luis Cantero, Henar Miguélez // *Metals*. – 2019. – №9(9), 989. doi:10.3390/met9090989
6. FEM analysis and experimental investigation of force and chip formation on hot turning of Inconel 625 / Asit Kumar Parida, Kalipada Maity // *Defence Technology*. – 2019. – №15 (6) С.853–860. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.04.012>
7. Studying the Factors Affecting Tool Vibration and Surface Quality during Turning through 3D Cutting Simulation and Machine Learning Model / Quang Ngoc The Ho, Thanh Trung Do, Pham Son Minh // *Micromachines*. – 2023. – №14(5), 1025. <https://doi.org/10.3390/mi14051025>
8. Влияние состава СОТС при лезвийной механической обработке на стабильность эксплуатационных показателей биоинженерных полимерных изделий / С. Н. Лавриненко, И. С. Лавриненко // *Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт*. – Севастополь, 2012. – № 129 – С. 114–118. – ISSN: 2307-6488
9. П. м. 191536 Российская Федерация, МПК В23В29/00 Оправка для растачивания ступенчатых глубоких отверстий в труднообрабатываемых деталях, сваренных из разнородных материалов / В. В. Максarov, Д. А. Осминко, Т. С. Голиков; ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, 2019.
10. Пробный проход при лезвийной обработке металла с измерением термоЭДС как способ предварительной оценки свойств контактной пары: резец-стальная заготовка / А. Л. Плотников, Н. Г. Зайцева, В. А. Аветисян, Х. Д. Ньят // *Вестник СГТУ*. – Саратов, 2012. – Т. 3. – № 1 (67). – С. 109–113. – ISSN: 1999-8341
11. Управление параметрами процесса лезвийной обработки на станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников ; науч. ред. А. П. Бабичев ; ВолгГТУ Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 231 с., ил., табл.; (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю. М. Соломенцев).
12. Ингеманссон, А. Р. Разработка математических моделей для технологической подготовки производства и адаптивного управления токарной и фрезерной обработкой в цифровых производственных системах / А. Р. Ингеманссон // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 27–40. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-27-40.
13. Расчетно-аналитический метод выбора припусков на обработку резанием деталей силовых агрегатов / В. В. Краев, Г. Г. Крушенко // *Вестник СибГАУ*. – Красноярск, 2012. – № 1 (41). – С. 122–126. – ISSN: 1816-9724
14. Эволюция структурных схем процесса резания / А. В. Волков, А. С. Свитка, И. К. Устинов // *Электронный журнал: наука, техника и образование*. – Калуга, 2016. – № 2 (6). – С. 47–58. – eISSN: 2413-6220
15. Автоматизация и управление процессом стружкодробления на основе метода локального пластического воздействия на обрабатываемый материал / Максarov В. В., Ванчурин А. Н. // *Металлообработка*. – Санкт-Петербург, 2006. – № 5–6 (35–36). – С. 12–17. – ISSN: 1684-6702
16. Вождов, А. А. Обеспечение качества фасонных поверхностей при токарной обработке коллекторов электрических машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / А. А. Вождов. – Севастопольский государственный университет, Севастополь, 2018. – 176 с.
17. Крюков, А. В. Применение комплексного метода для улучшения качества изготовления деталей приборов радиоэлектронной борьбы. *Russ. Technol. J.* 2022;10(2):35–42. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-35-42>
18. Чигиринский, Ю. Л. Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка, производство, прослеживание / Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, Е. М. Фролов // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. – 2022. – № 8(134). – С. 39–48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-8-39-48
19. Change in Time of the Value of Dry and Lubricated Friction Coefficients for Surfaces Generated by Different Processing Methods / Gheorghe Nagit, Andrei Marius Mihalache, Oana Dodun, Adelina Hrituc, Laurentiu Slatineanu, Vasile Merticaru // *Lubricants*. – 2023. – № 11(10), 436. <https://doi.org/10.3390/lubricants11100436>
20. Способ назначения режимов резания для станков с ЧПУ на основе ЭДС резания : заявка № 2021135 Российская Федерация : В23В 25/06 (2006.01), В23Q 15/00 (2006.01) / Фролов Е. М., Рогачев А. В. ; заявитель ФГБОУ ВО «ВолгГТУ». – № 2021135456/05 ; заявлен 02.12.2021. – 30 с.

21. П. м. 201939 Российская Федерация, МПК В23В25/06 Резец сборный с элементами для измерения ЭДС резания / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев ; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.

22. П. м. 201938 Российская Федерация, МПК В23В25/06 Автономный модуль для измерения ЭДС резания / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.

23. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022614344 от 18 марта 2022 г. Российская Федерация. Оптимизация режимов резания для станков с ЧПУ / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев ; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2022.

24. Фролов, Е. М. Возможности использования серийного оборудования с ЧПУ в качестве основы для построения цифровых производственных участков / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев // Известия ВолгГТУ : научный журнал

№ 3 (250) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – С. 41–43.

25. Исследование качества формируемой при точении на автоматически определяемых режимах поверхности / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев, М. Ю. Поляникова, В. В. Стражев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 32–34. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-32-34.

26. Evaluation of tool wear, surface roughness/ topography and chip morphology when machining of Ni-based alloy 625 under MQL, cryogenic cooling and CryoMQL / Çağrı Vakkas Yıldırım, Turgay Kıvak, Murat Sarıkaya, Şenol Şirin // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2020.–№ 9(2).–С. 2079-2092. <https://doi.org/10.1016/j.mrt.2019.12.069>

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-30-33

*Н. А. Толстяков<sup>1</sup>, А. Р. Ингеманссон<sup>2</sup>*

**ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ  
В КРУПНОГАБАРИТНЫХ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫХ ЗАГОТОВКАХ  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ  
НА ОПЕРАЦИЯХ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ**

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

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

E-mail: <sup>1</sup> tolstijcov@mail.ru; <sup>2</sup> aleing@yandex.ru

Исследовано непостоянство механических свойств крупногабаритных кузнечно-прессовых заготовок и его влияние на процессы стружкообразования. Исследованию были подвергнуты 17 крупногабаритных поковок призматической формы. Подтверждено наличие неравномерности механических свойств заготовок в выборке. Кроме этого, рассматривалась морфология стружки, полученной при глубоком сверлении заготовок.

*Ключевые слова:* непостоянство твердости, глубокое сверление, стружкообразование.

*N. A. Tolstyakov<sup>1</sup>, A. R. Ingemansson<sup>2</sup>*

**INFLUENCE OF UNEVEN HARDNESS DISTRIBUTION IN LARGE-SIZED FORGED-PRESSED  
BLANKS ON CHARACTERISTICS OF CHIPS IN DEEP DRILLING OPERATIONS**

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

<sup>2</sup> JSC «Federal Scientific and Production Centre «Titan-Barrikady»

The variability of the mechanical properties of large-sized forging blanks and its influence on the processes of chip formation was studied. 17 large-sized prismatic forgings were subjected to research. The presence of uneven mechanical properties of the workpieces in the sample was confirmed. The morphology of chips produced by deep hole drilling of workpieces was also considered.

*Keywords:* variability of hardness, deep hole drilling, chip formation.

**Введение**

Глубокое сверление является видом механической обработки, набирающим все большее распространение сегодня. Оно востребовано практически в каждой области машиностроения. Глубокие отверстия изготавливают в изделиях энергетического, специального машиностроения, а также в судостроении. К тому же часто такой вид обработки выполняется в труд-

нообрабатываемых материалах с твердостью до 42 ... 44 HRC: графит, чугуны, титановые сплавы, высоколегированные стали и т. д. [1, 2].

Критерием отнесения операции к обработке глубоким сверлением является отношение длины к диаметру обрабатываемого отверстия. Граница различия обычного отверстия от глубокого проходит там, где начинаются трудности с отведением стружки из зоны резания, же-



сткостью обработки и др. Своевременное отведение образованной стружки критически важно для изготовления отверстий, соответствующих требованиям по качеству, и обеспечения требуемой работоспособности режущего инструмента. Принято считать, что глубоким отверстие становится при достижении отношения длины к диаметру равному и более 5 крат.

В некоторых случаях обработку приходится производить в крупногабаритных заготовках, изготовленных методомковки. В данном процессе рабочие сталкиваются с рядом сложностей: пакетирование стружки в каналах для ее отведения, неравномерная сила резания по пути рабочего движения сверла, чрезмерный износ твердосплавных режущих пластин, прерывание процесса сверления для эвакуации стружки. Это связано со свойством неравномерного распределения твердости внутри упомянутых выше заготовок.

Рассеяние механических свойств по объему заготовки определяется массой предшествующих стадий обработки (изготовление кузнечно-го слитка,ковка и штамповка, термообработка). Данные этапы изготовления заготовок создают явный разброс механических свойств, как внутри объема заготовки, так и между заготовками одной партии [3].

Этот разброс, однако, является стабильным с точки зрения технических условий на изготовление заготовок и изделия, выполненные из них пригодны для эксплуатации в своих областях промышленности. Но данный разброс оказывает существенное влияние на специальные технологические процессы, такие как глубокое сверление.

Формируется противоречие между необходимостью обеспечения стабильности обработки глубоким сверлением крупногабаритных кузнечно-прессовых заготовок и наличием, названной выше, проблемы нестабильного распределения механических свойств по объему данных заготовок.

Неразрешенное противоречие приводит к снижению ресурса формообразующего инструмента, его износу и поломке, к нестабильности параметров качества изделия, к низкой производительности обработки глубоким сверлением, в силу необходимости устранения пакетированной стружки.

Существует проблема недостатка научно-обоснованных решений по устранению названного выше противоречия.

### Методика

Рассматривалась выборка крупногабаритных поковок призматической формы из 17 штук, имевших размеры  $550 \times 550 \times 600$  мм. Стоит отметить, что изготовление такого изделия осложняется необходимостью выполнения в нем глубоких отверстий. Отношение длины к диаметру формируемых глубоких отверстий доходит до 20 раз.

Твердость заготовок измерялась неразрушающим методом Либа с помощью портативного твердомера модели «Константа КТ» («Константа», Россия).

Кроме этого, рассматривалась морфология стружек, полученных после операций глубокого сверления на конкретных заготовках. Габариты элементов стружки измерялись с помощью штангенциркуля. Обработка производилась на многоцелевом сверлильно-фрезерно-расточном станке с ЧПУ.

### Результаты

Оценка значений твердости, полученных в результате измерений, на представленной выборке показывает действительное наличие указанной выше проблемы. Это также подтверждает выдвинутые в предыдущих исследованиях положения [4].

Коэффициент вариации твердости среди выборки заготовок достигает 18,2 %, в наименьшей величине он составляет всего 3 %, что говорит о большой разности номинально одинаковых заготовок между собой. Также необходимо отметить, что более половины объема заготовок имеют коэффициент вариации твердости более 10 % (таблица).

Результаты измерения выборки заготовок, дополненной относительно приведенной в [4], отображены визуальнo с помощью графика (рис. 1).

Были исследованы и морфологические характеристики полученных в результате глубокого сверления стружек. Стружка из заготовки № 24 имела наибольшие размеры, при этом и сама заготовка № 24 характеризовалась наибольшим разбросом твердости. В процессе резания кроме обычной элементной стружки была также образована мягкая сливная стружка в форме «елочки». Спираль имели средний диаметр 11 мм и среднюю длину 49,3 мм (рис. 2).

Обработка заготовки № 75, показавшей наименьший разброс механических свойств, напротив сопровождалась формированием стабильной морфологии стружки, без образования длинных спиралей, что свидетельствует о действительно малом разбросе значений твердости (рис. 3).

**Результаты исследования нестабильности механических свойств  
по выборке из 17 заготовок**

Предприятие-изготовитель	Номер заготовки	Среднее значение твердости, НВ	Стандартное отклонение $\sigma$ , НВ	Коэффициент вариации $v$ , %
А	№06	316	40	12,5
	№24	276	50	18,2
	№04	341	23	6,6
Б	№43	308	53	17,2
	№52	287	51	17,8
	№44	321	36	11,2
	№57	337	27	8,2
	№51	335	39	12,5
	№48	320	10	3,2
	№46	335	21	6,2
	№75	324	8	2,4
	№74	326	10	3,0
	№76	323	21	6,6
	№93	329	17	5,2
	№89	327	35	10,7
	№66	322	32	10,1
	№60	313	32	10,3

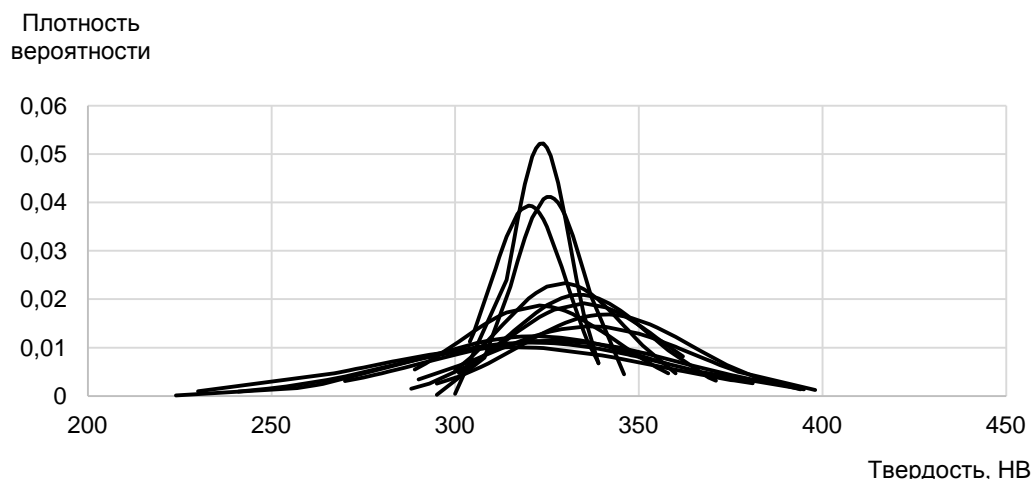


Рис. 1. Сравнительная диаграмма распределений плотности вероятности твердости в конкретных заготовках

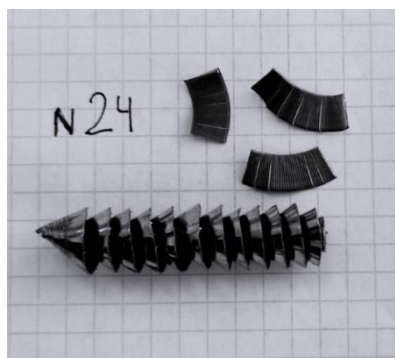


Рис. 2. Стружка, полученная при сверлении заготовки № 24



Рис. 3. Стружка, полученная при сверлении заготовки № 75

Также были рассмотрены стружки из заготовок 89 и 66. Здесь наблюдалась мягкая сливная стружка, меньших размеров, чем в заготовке № 24. Средний диаметр составил 10,3 и 9,8 мм, соответственно, а длина 29 и 26 мм, соответственно (рис. 5, 6).



Рис. 5. Стружка, полученная при сверлении заготовки № 89

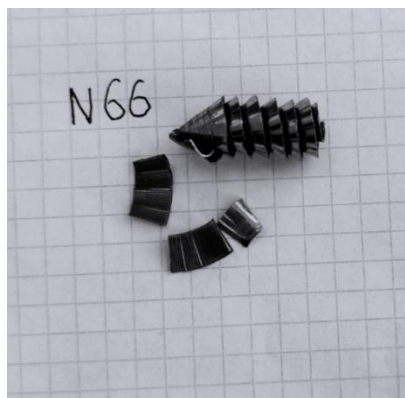


Рис. 6. Стружка, полученная при сверлении заготовки № 66

Оценка морфологии стружки коррелируется с ранее проведенными измерениями твердости заготовок. Образование мягкой сливной стружки в форме “елочки” происходит из-за излишней пластичности срезаемого материала. Дробление стружки затруднено, стружколом на

режущей пластине полноценно не выполняет свою функцию в данной ситуации, что способствует ее закручиванию в спираль. Наличие, как элементной стружки, так и сливной показывает, что в заготовках имеют место участки с непостоянной твердостью.

### Выводы

1. Ранее выявленная проблема неравномерного распределения механических свойств по объему крупногабаритных кузнечно-прессовых заготовок была подтверждена измерениями на расширенной выборке, а также исследованием морфологии полученных стружек при глубоком сверлении на многоцелевом станке.

2. Наблюдалась взаимосвязь объемов и морфологии сливной спиральной стружки с величиной коэффициента вариации твердости заготовок. Проведенные исследования подтверждают наличие проблемы блокирования каналов стружкоотведения при обработке заготовок с нестабильными механическими свойствами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обработка глубоких отверстий в машиностроении : справочник / С. В. Кирсанов, В. А. Гречишников, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе ; под общ. ред. С. В. Кирсанова. – Москва, 2010. – 344 с. – ISBN 978-5-94275-521-8. – EDN PVJNMJ.
2. Li X, Zhai C, He W, Lu Y, Zhang B. Experimental Investigation of Tool Wear and Machining Quality of BTA Deep-Hole Drilling in Low-Carbon Alloy Steel SA-5083. *Materials*. 2023; 16(20):6686. <https://doi.org/10.3390/ma16206686>
3. Switzner, N. T. & Vantyne, Chester & Mataya, Martin. (2010). Effect of forging strain rate and deformation temperature on the mechanical properties of warm-worked 304L stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 210. 998-1007. 10.1016/j.jmatprotec.2010.01.014.
4. Ингеманссон, А. Р. Исследование рассеяния твердости крупногабаритных кузнечно-прессовых заготовок и влияния на обрабатываемость резанием / А. Р. Ингеманссон, Н. А. Толстяков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8(279) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 18–21. – DOI 10.35211/1990-5297-2023-8-279-18-21. – EDN EMQBYU.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-34-37

*Н. В. Тришин, И. А. Карнишина, С. С. Шемелюнас, А. М. Макаров, Ж. С. Тихонова***РАЗРАБОТКА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ  
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Представлены результаты разработки импортозамещающей технологии изготовления изделий для автоматической линии пищевого производства, которая позволяет наладить мелкосерийное производство комплектующих линии для плановой их замены в процессе износа. Разработка включает трехмерную модель оригинальной детали, управляющую программу и технологию ее изготовления на фрезерном станке с ЧПУ.

*Ключевые слова:* трехмерное моделирование, обработка на станках с ЧПУ, импортозамещение, технологическая программа, автоматическая линия.

*N. V. Trishin, I. A. Karnishina, S. S. Shemelyunas, A. M. Makarov, Zh. S. Tikhonova***DEVELOPMENT OF IMPORT-SUBSTITUTING TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING  
COMPONENTS FOR AN AUTOMATIC FOOD PRODUCTION LINE****Volgograd State Technical University**

The results of the development of an import-substituting technology for the manufacture of products for an automatic food production line, which allows for the establishment of small-scale production of line components for their planned replacement during wear. The development includes a three-dimensional model of the original part, a control program and the technology of its manufacture on a CNC milling machine.

*Keywords:* three-dimensional modeling, CNC machining, import substitution, technological program, automatic line.

В современном производстве вопросы поддержания в работоспособном состоянии технологического оборудования иностранного производства и его усовершенствования для повышения экономической эффективности производственного процесса и снижения себестоимости продукции является приоритетной задачей [1]. По причине ухода с рынка большинства крупных иностранных производителей у отечественных компаний возникла потребность в самостоятельном производстве комплектующих и компонентов, в том числе для иностранного оборудования [2, 3].

Возможность своевременно приобрести необходимые комплектующие является критически важным для предприятий, работающих на импортном оборудовании. Приоритетной целью стратегии промышленного развития страны является достижение технологического суверенитета, в том числе, основанного на изготовлении отечественных аналогов деталей для конвейерного оборудования, например, в пищевой промышленности.

Это обусловлено несколькими факторами. Во-первых, автоматизация и роботизация процессов производства становятся все более зна-

чимой в промышленности. Внедрение современных технологий позволяет повысить производительность, снизить затраты, повысить качество продукции и обеспечить более эффективное использование ресурсов. При этом предприятия пищевой промышленности имеют особые требования к гигиене, безопасности и качеству продукции, и использование роботизированных линий помогает в достижении этих требований.

Во-вторых, сменные элементы конвейерного оборудования являются важными компонентами, которые влияют на надежность и эффективность работы конвейерных линий. Их изготовление требует высокой точности и качества, а также требует учета разнообразных форм и размеров. Внедрение робототехники и автоматизация процесса значительно сокращает время и повышает точность изготовления.

Для решения проблемы своевременного снабжения автоматических линий пищевого производства высококачественными сменными комплектующими разработана импортозамещающая технология их изготовления на металлообрабатывающем оборудовании (фрезерный обрабатывающий центр) с числовым программным управлением [4, 5].

Разработка технологии изготовления конвейерных перевозчиков производится в несколько этапов. Первый этап заключается в разработке 3D-модели по оригинальной детали. С использованием 3D-сканера, а также ручных

измерений и отечественного программного обеспечения САПР Компас 3D на основе исходного оригинального прототипа изделия с учетом рекомендаций и пожеланий заказчика была создана 3D-модель изделия (рис. 1).

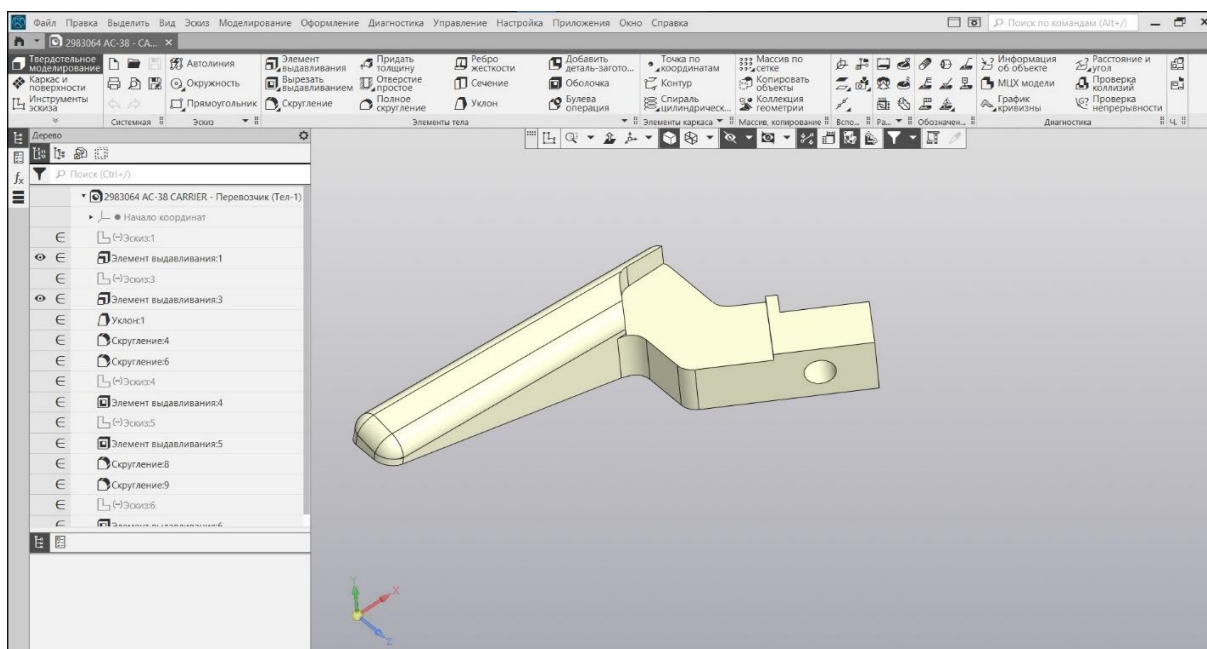


Рис. 1. Модель изделия в САПР Компас 3D

Далее была создана 3D-модель заготовки. Заготовка представляет собой круглый прокат блочного полиамида ПА6 диаметром 65 мм. На одном конце заготовки предусмотрен хвостовик квадратного типа для ориентации заготовки при фрезерной обработке.

Для обработки хвостовика на заготовке подготавливается программа обработки в САМ системе SprutCAM. В этой программе фрезеруется квадратный хвостовик и производится торцевание заготовки в нужный размер.

Далее настраивается программа обработки для конечного изделия. В САМ систему загружается 3D-модель заготовки и 3D-модель будущего изделия.

Далее настраивается программа обработки: задаются типы фрезерных операций, настраивается инструмент для обработки и режимы резания, задаются рабочие зоны обработки и зоны ограничения обработки.

После задания всех операций обработки производится проверка созданных траекторий и операций в модуле «Моделирование обработки» (рис. 2).

После проверки операций фрезерной обработки проводится постпроцессирование ранее

созданных траекторий. Вызывается окно постпроцессора, выбираются нужные конфигурации и операции, выводится управляющая программа на обработку.

Следующим этапом является нарезание цилиндрической капролоновой заготовки на части заданного размера. Затем в установленном на фрезерном столе патроне размещается заготовка, производится загрузка и запуск программы фрезерования для получения кубической базовой поверхности. Получение формы изделия происходит обработкой горизонтально расположенной заготовки с одной переустановкой.

После операции фрезерования необходимо произвести слесарные работы, предполагающие получение отверстия и ступеньки, которые невозможно обработать во время фрезерной операции без переустановки, а также создание фасок на краях изделия.

По окончании работы производится очистка изделия от загрязнений и технических жидкостей. Изделие готово к эксплуатации.

На рис. 3, а представлена изготовленная пробная партия изделий, на рис. 3, б – исходное изделие, предоставленное заказчиком.



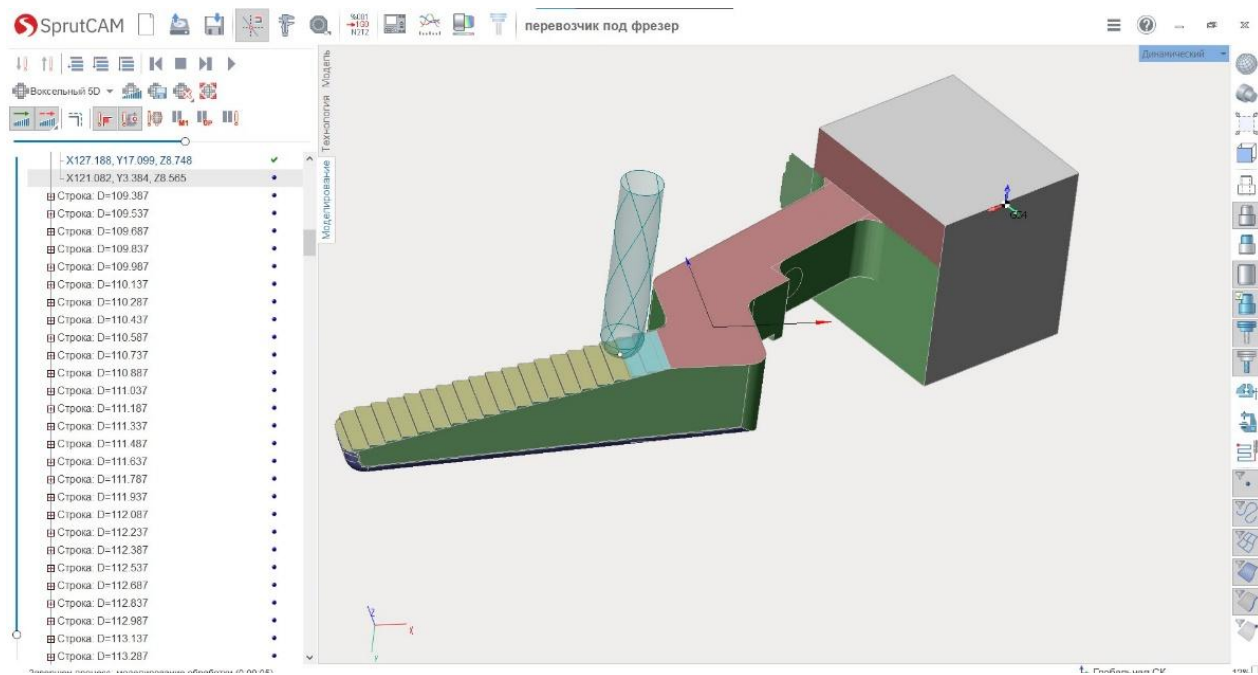


Рис. 2. Визуализация изделия после фрезерной обработки



а



б

Рис. 3. Изделия:  
а – полученные; б – исходное

Полученные изделия прошли производственные испытания на автоматической линии предприятия пищевого производства и подтвердили свою работоспособность в пределах всего заявленного срока эксплуатации, что подтверждает, что разработанная технология позволяет изготавливать сменные изделия автоматических линий, не уступающие по характеристикам иностранным аналогам. Использование предлагаемого способа изготовления позволяет значительно снизить стоимость и сроки поставки конечного изделия потребителю, что, в целом, приводит к снижению экономических затрат на бесперебойное функционирование технологического оборудования, а значит и к снижению себестоимости конечной продукции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы технологической подготовки в условиях современного производства / Д. В. Крайнев, Ж. С. Ти-

хонова, М. В. Капустин, Д. А. Палкин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 16–19. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-16-19.

2. Плесовских, А. Ю. Импортотамещающая технология изготовления деталей нефтегазодобывающей отрасли с нанесением износостойких покрытий на основе вольфрама / А. Ю. Плесовских, С. Е. Крылова, С. П. Оплеснин // Вестник современных технологий. – 2019. – № 2(14). – С. 9–14.

3. Разработка импортотамещающей технологии и освоение производства стальных труб для топливopроводов высокого давления / А. В. Серебряков, В. А. Моргунов, И. Н. Бажуков [и др.] // Производство проката. – 2019. – № 1. – С. 3–7. – DOI 10.31044/1684-257X-2019-0-1-3-7.

4. Шишков, Н. Г. Влияние траектории фрезерования на износ инструмента / Н. Г. Шишков, Ж. Е. Чуликова // Вестник машиностроения. – 2023. – № 8. – С. 692–694. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-8-692-694. – EDN HUBPGV.

5. Фисоченко, Ю. А. Системный анализ процесса фрезерования на станках с ЧПУ / Ю. А. Фисоченко, А. Г. Колесов // Вестник современных технологий. – 2023. – № 2(30). – С. 22–27.

УДК 621.91.01: 621.9.011

DOI: 10.35211.1990-5297-2024-3-286-37-41

**Ю. Л. Чигиринский, А. Л. Плотников, И. В. Фирсов, А. А. Жданов**

#### **К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: alex\_128@mail.ru

В работе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой цифровых двойников технологических процессов механической обработки деталей машин. Оценивается текущий уровень развития САПР ТП, а также ставятся задачи и направления дальнейших разработок в области автоматизации технологического проектирования.

*Ключевые слова:* цифровой двойник, технологическое проектирование, маршрутное проектирование, размерный анализ.

**Yu. L. Tchigirinsky, A. L. Plotnikov, I. V. Firsov, A. A. Zhdanov**

#### **ABOUT THE NECESSITY TO CREATE DIGITAL TWINS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MECHANICAL PROCESSING OF MACHINE PARTS**

**Volgograd State Technical University**

The paper addresses the issue related to the development of digital twins of technological processes for machining machine parts. The current level of development of CAD TP is assessed, and tasks and directions for further developments in the field of automation of process design are set.

*Keywords:* digital twin, process design, route design, dimensional analysis.

В настоящее время в условиях цифровизации и автоматизации, в рамках концепции «Индустрии 4.0» традиционное представление технологического процесса в виде комплекта технологических документов, как правило, в бумажном виде, представляется устаревающим. До сих пор не

создана полноценная система автоматизированного проектирования технологических процессов, которая бы позволяла не просто сделать более удобным и быстрым процедуру формирования технологической документации, сопровождающей процессы технологической подготовки

и собственно производства, но действительно осуществлять автоматизированное проектирование, когда технологу останется только проверить и согласиться с одним из предложенных САПР ТП вариантом технологии, внося минимальные правки. Пока же процесс технологического проектирования осуществляется в основном в голове инженера-технолога, который руководствуется знаниями, опытом, справочными данными и математическими расчетами.

Существование цифрового двойника изделия должно быть неразрывно связано с понятием цифрового двойника технологического процесса его изготовления. То есть, цифровой двойник технологического процесса не просто должен быть одним из пунктов сопроводительной документации (пусть и в цифровом виде) к цифровому двойнику изделия, но самостоятельной цифровой единицей, цифровой моделью. Технологический процесс, особенно достаточно сложных деталей, в течение своего жизненного цикла подвергается многократным переработкам, правкам. Результатом этих правок является изменение характеристик качества изделия, оптимизация затрат или производительности его изготовления и т. д. Существует определенная обратная связь в результате изменения технологии. Поэтому одним из свойств цифрового двойника технологического процесса должна стать так называемая «система контроля версий». В программировании давно существует такое понятие, существуют

специальные сервисы, например, «github», которые позволяют отслеживать изменения программного кода, хранить все его версии, при необходимости осуществлять откат на предыдущую стабильную версию. При привязке к цифровому двойнику технологического процесса двойников конкретных изделий (которые хранят результаты контроля размеров изделия и другую информацию), что делается без существенных затрат, формируется достаточно широкое поле для статистической обработки (в том числе для обучения систем технологического искусственного интеллекта [1]) в разрезе «как те или иные изменения повлияли на производственный процесс и на качество изделий». Такие «версии» впоследствии могут быть учтены как некоторые новые паттерны для обучения интеллектуальной САПР ТП. В отсутствие цифровизации этот процесс осуществляется достаточно сложно и трудоемко. Как правило, этот процесс сопряжен либо с анализом большого количества бумажной документации (протоколов измерений, техпроцессов, правок, результатов испытаний и т. д.), либо вообще с необходимостью проведения сплошного контроля и наработки массива данных на рабочем месте. Наличие цифрового двойника технологического процесса с системой контроля версий и привязкой к метрикам каждого конкретного изделия (партии) может позволить осуществлять анализ вносимых изменений практически в режиме реального времени (рис. 1).

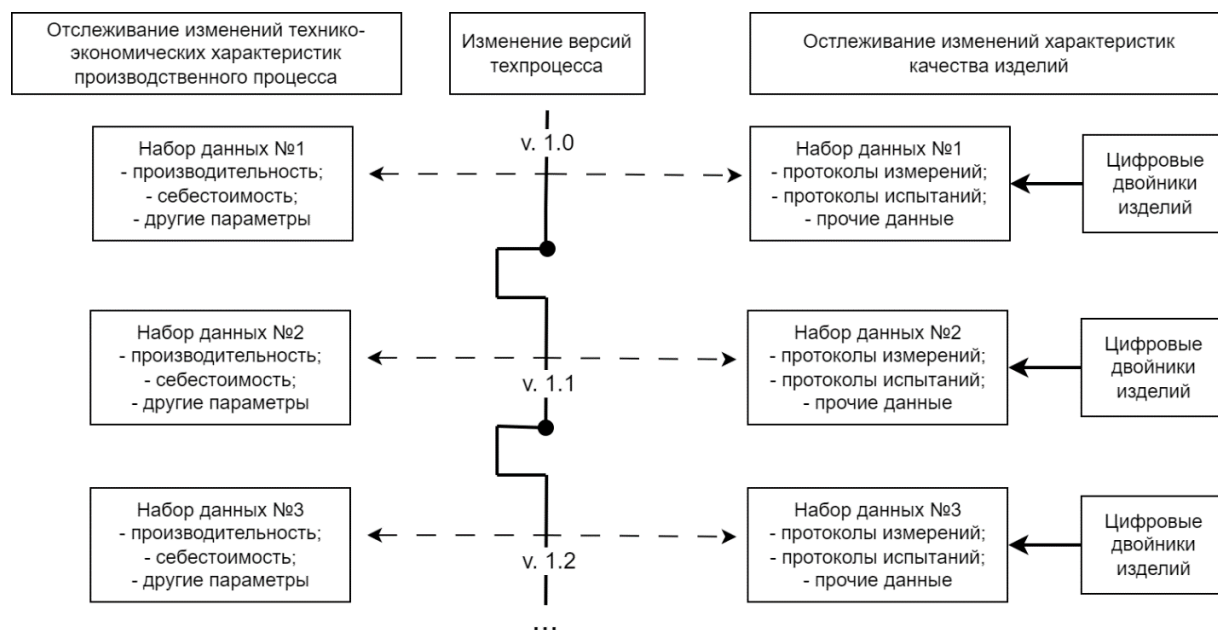


Рис. 1. Контроль версий технологического процесса и отслеживание изменений характеристик изделия и производственного процесса в целом



Создание цифрового двойника технологического процесса невозможно без наличия соответствующего программно-информационного обеспечения, интегрированного в PDM-систему предприятия. Современные САПР ТП представляют собой лишь помощников по заполнению технологических документов, практически не представляя возможностей собственно проектирования [1].

В работе [2] предложена концепция программного продукта, представляющего комплексное решение по технологическому проектированию. Самой большой трудностью разработки является отсутствие формализованного решения задачи маршрутного и операционного проектирования. То есть, непонятно, как научить компьютер самостоятельно строить маршрут обработки, особенно с учетом выбора технологических баз для совершенно разных деталей различных типоразмеров. Стоит отметить, что частично решение задачи автоматизации маршрутного проектирования рассмотрено в работах [3–5]. Речь идет об автоматизации поиска оптимального маршрута обработки конкретных поверхностей.

Для формализации процесса маршрутного проектирования, по-видимому, необходимо решить следующие основные задачи:

1. Формализация процесса поиска оптимального маршрута обработки отдельных поверхностей детали.
2. Формализация процесса выбора заготовки и ее параметров (формы, размеров, размерной точности, качества и др. параметров).
3. Формализация процесса построения маршрута обработки всей детали с выбором технологических баз, оборудования, режущего инструмента и т. п.
4. Формализация процедуры проверочного расчета технологических размерных цепей методами размерного анализа и корректировки маршрута обработки, интегрированная в общий единый алгоритм, в общую САПР.
5. Формализация процесса подготовки комплекта технологической документации на основе работы автоматизированного модуля маршрутного проектирования.

Эти задачи взаимосвязаны и последовательны. Укрупненный алгоритм работы полноценного модуля САПР «Построение оптимального маршрута обработки» представлен на рис. 2. Алгоритм не предусматривает автоматизированного поиска решения в случае, когда выдержать все требования при любых вариантах маршрута, которые система может сгенерировать, невозможно. Эти случаи отрабатываются отдельно, уже в ручном режиме, совместно с конструкторами, спроектировавшими эту деталь, заказчиками, руководством. Здесь же речь идет о случае, когда задача, все-таки, имеет решение, и получить хотя бы один маршрут, для которого будут выполняться требования по точности, качеству и т. д., возможно.

Задача выбора последовательности обработки конкретной поверхности детали на текущий момент представляется в целом формализованной. Трудности формализации заключались в том, чтобы алгоритмизовать процедуру выбора методов обработки с учетом требований по точности, качеству и т. д.

Стоит отметить, что справочные данные по достижимым показателям качества и точности существенно разнятся, а отдельные показатели, влияющие на эксплуатационные свойства поверхностей деталей машин (микротвердость, глубина наклепа и т.д.), вовсе могут отсутствовать в справочной литературе.

Статистически достоверные данные о границах технологических допусков, характерных для конкретного производства, представляются в виде вероятностных таблиц точности, фактически – матриц смежности ориентированных графов [5], – формирования комплекса эксплуатационных свойств каждой из поверхностей изделия.

Маршрут обработки формируется с помощью обычной задачи поиска оптимальных – критерий оптимизации определяется технологом, – путей в ориентированном графе (рис. 3). Один из возможных вариантов программной реализации данной методики представлен [4] программным модулем «Route of Process» (рис. 4).

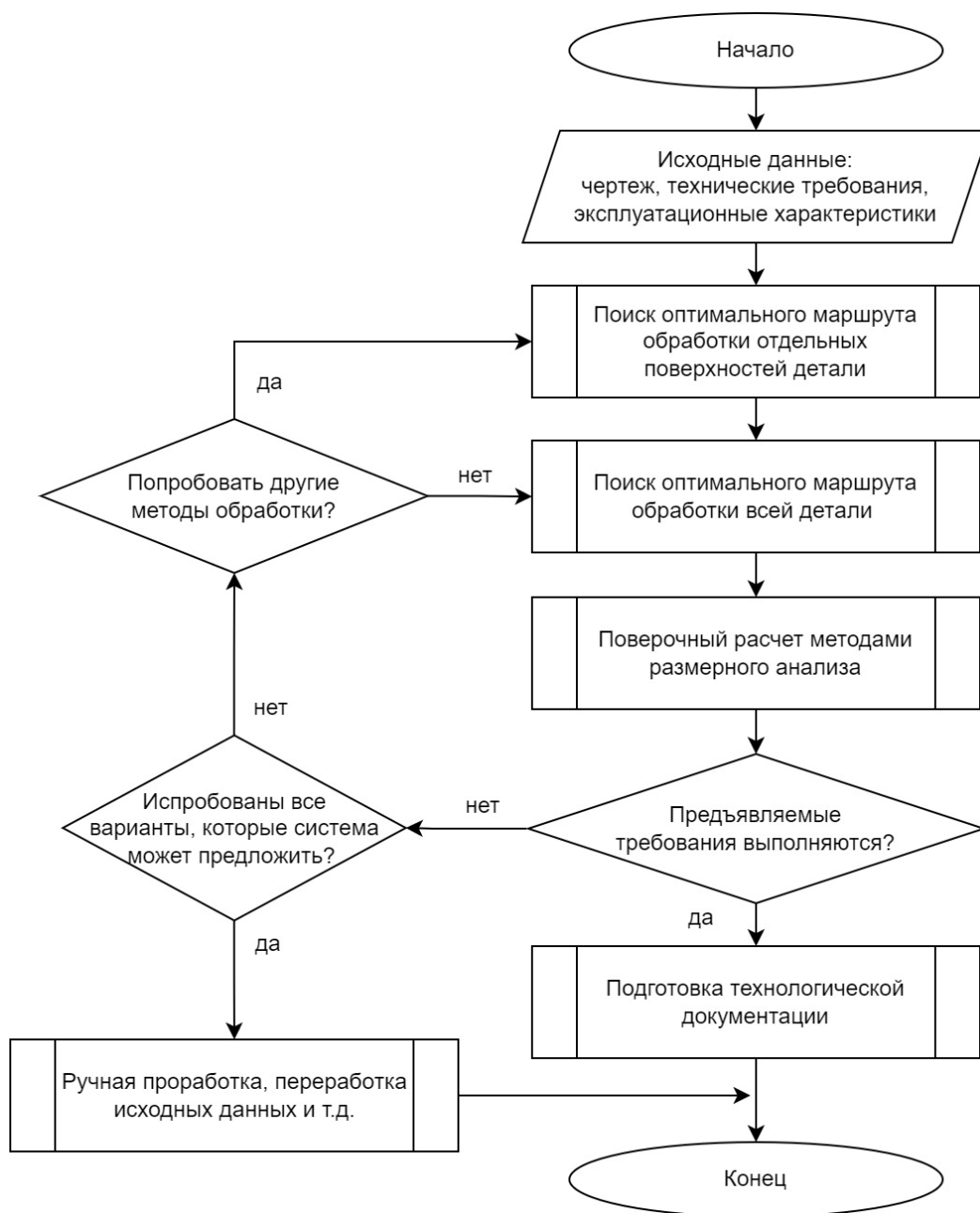


Рис. 2. Укрупненный алгоритм модуля маршрутного проектирования

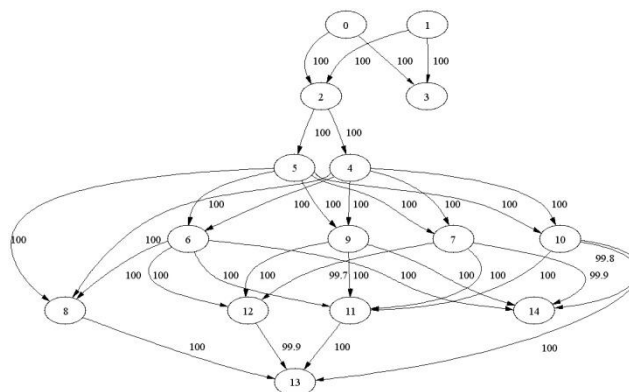


Рис. 3. Граф методов обработки

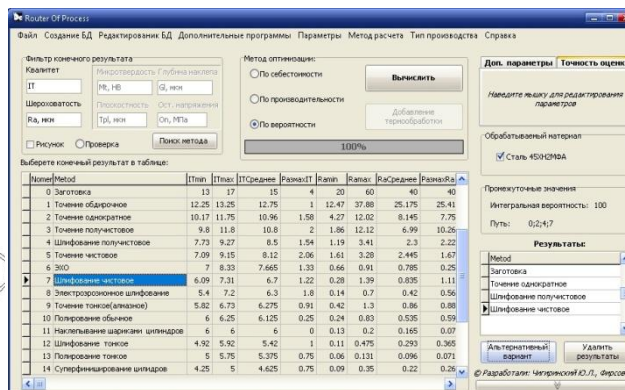


Рис. 4. Экран модуля «Route of Process»

Сложно решаемым остается вопрос выбора баз в автоматическом режиме. На сегодняшний момент в САПР ТП отсутствует даже связь маршрута, технологической размерной цепи с какой-либо электронной моделью. Требуется введение понятия «электронной цифровой модели техпроцесса» или «цифрового двойника техпроцесса» и реализация ее на программном уровне. В данной модели техпроцесс может быть представлен в виде совокупности графов. Такой подход позволит не только осуществлять автоматизацию заполнения технологической документации, но и подсказывать технологу оптимальные маршруты, а также проверять их методами размерного анализа.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чигиринский, Ю. Л. Технологические аспекты подготовки цифрового машиностроительного производства / Ю. Л. Чигиринский, А. Р. Ингеманссон // Научные технологии в машиностроении. – 2023. – № 9 (147). – С. 39–48. – DOI : 10.30987/2223-4608-2023-39-48
2. Tchigirinsky, Ju. L., Zhdanov, A. A. and Arzhanov, R. I. The Concept of a Software Module for Automating the Route Design of Mechanical Processing Machine Parts for Use as Part of a Machine-Building CAD System // Advances in Automation V : Proc. of the Int. Russian Automation Conference (RusAutoCon2023) (Sochi, Russia, September 10-16, 2023) / eds.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov ; Moscow Polytechnic University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 205-213. – DOI : [https://doi.org/10.1007/978-3-031-51127-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-51127-1_20).
3. Фирсов, И. В. Обеспечение точности и качества плоских поверхностей при многопереходной механической обработке сложнотеленой стали // Дисс. к. т. н. / ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Волгоград, 2019.
4. Свид. о регистрации программы для ЭВМ № 2013614279 от 26.04.2013 г., РФ Проектирование маршрута обработки наружных цилиндрических поверхностей / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов; ВолгГТУ. – 2013.
5. Tchigirinsky, Ju. L., Chigirinskaya, N. V. and Firsov, I. V. Structural optimization of technological route using simulation modeling // Proceedings of 2015 Int. Conf. on Mech. Eng., Automation and Control Systems (MEACS) (Tomsk, Russia, 1-4 12.2015) / Tomsk Polytechnic University. – P. 1–4. – DOI : 10.1109/MEACS.2015.7414925.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.421

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-42-44

*Н. Д. Бикчурин, А. Ю. Горелова, М. Ю. Полянчикова*

### СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nail.bikchurin@yandex.ru

В статье рассматривается методика автоматического расчета солнечной электростанции, которая позволяет определить общее количество необходимой мощности, количество требуемых солнечных панелей с определенной мощностью, а также емкость аккумуляторов для сохранения полученной энергии на случай резервного хранения или для питания следящей системы. Рассмотренный способ позволяет автоматизировать процесс расчета, который впоследствии упрощает подбор комплектующих для солнечной электростанции.

*Ключевые слова:* автоматический расчет, солнечная электростанция, энергия.

*N. D. Bikchurin, A. Yu. Gorelova, M. Yu. Polyanchikova*

### METHOD FOR AUTOMATIC CALCULATION OF SOLAR POWER PLANT

Volgograd State Technical University

The article discusses a method for automatically calculating a solar power plant, which allows you to determine the total amount of power required, the number of required solar panels with a certain power, as well as the capacity of the batteries to store the received energy in case of backup storage or to power the tracking system. The considered method allows you to automate the calculation process, which subsequently simplifies the selection of components for a solar power plant.

*Keywords:* automatic calculation, solar power plant, energy.

Солнечные электростанции становятся все популярнее в современном мире, так как они работают с возобновляемым источником энергии. Многие хозяйственные объекты и объекты промышленного производства уже используют этот вид энергии, чтобы снизить зависимость от традиционных источников и сократить затраты за электроэнергию.

Основной проблемой при переходе на получение энергии от солнечной электростанции является отсутствие готовых методик расчета необходимого оборудования для текущих потребностей производства и для масштабирования имеющихся станций. Актуальной задачей является автоматизация процесса расчета солнечной электростанции. Для решения поставленной задачи разработана программа автоматического расчета солнечной электростанции, которая позволяет определить общее количество необходимой мощности, количество требуе-

мых солнечных панелей с определенной мощностью, а также емкость аккумуляторов для сохранения полученной энергии на случай резервного хранения или для питания следящей системы. Входными данными являются: среднее потребление электростанции в течение одного месяца, количество дней в месяце, общее количество часов солнечного света в день, а также средний коэффициент потерь (например затраты энергии на следящую систему) [2]. Для потребителя данный способ позволяет автоматизировать процесс расчета, который впоследствии упрощает подбор комплектующих для солнечной электростанции.

Исходными данными для автоматизированного расчета солнечной электростанции являются: требуемое потребление электроэнергии в течение одного месяца в Киловатт-час, количество дней в месяце, количество часов солнечного света в день, коэффициент потерь (рис. 1) [3].

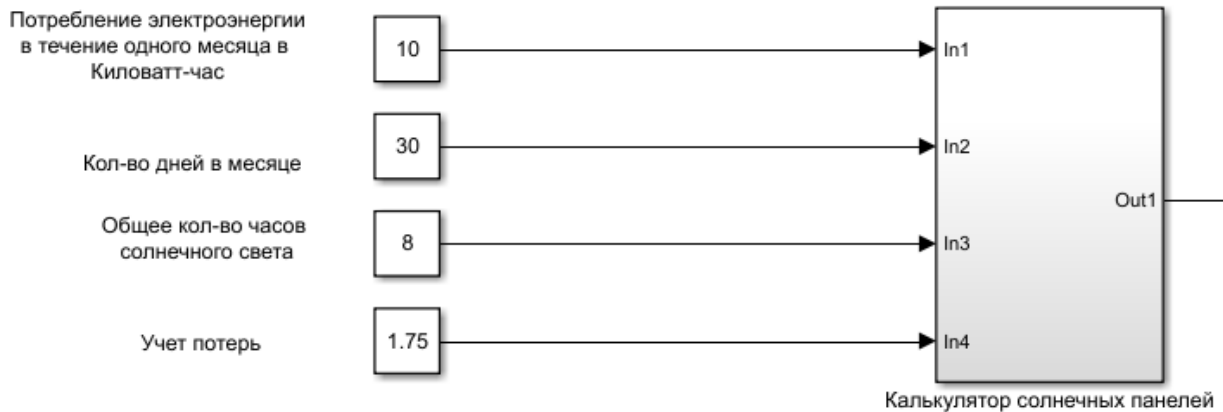
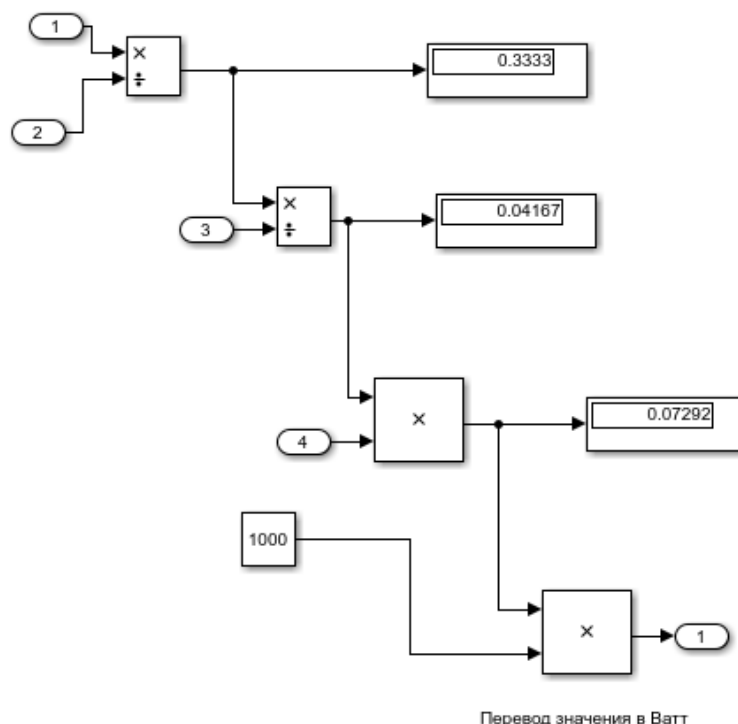


Рис. 1. Исходные данные

Например, требуется 10 кВт\*ч в месяц, в котором 30 дней, из которых 8 часов светит солнце, а также заложим 1,75 как коэффициент потерь (например: на следующую систему).

Расчет требуемого оборудования осуществляется в программе Matlab.Simulink по следующему алгоритму (рис. 2): требуется разделить потребление электроэнергии в течение одного месяца на количество дней в месяце, затем полученное значение разделить на количество часов солнечного света в день, далее умножить

на коэффициент потерь и после умножить на 1000 (для перевода в единицу измерения мощности – Ватт). Таким образом, мы получаем значение, равное количеству необходимой мощности. Для этого алгоритма используются такие блоки, как: Divide (выводит результат деления первого входного сигнала на второй входной сигнал), Product (выводит результат умножения двух входных данных), а так же Display (для вывода полученного значения) и Constant (для обозначения константы) [4, 5].



Перевод значения в Ватт

Рис. 2. Калькулятор солнечных панелей

Затем происходит выбор мощности солнечных панелей и их подсчет, путем добавления блока с прописанной функцией Floor, которая округляет значение до ближайшего це-

лого числа (рис. 3). В данном блоке требуется прописать переменную, на которую будет делиться общее количество необходимой мощности [5].

```

Выбор мощности солнечных панелей
1 function y = fcn(u)
2 % This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
3 % See the help menu for details.
4 y = floor(u / 9)+1;

```

Рис. 3. Выбор мощности солнечных панелей

С помощью калькулятора мы получаем следующие данные (рис. 4):

– 72,92 Вт – общее количество необходимой мощности

– 9 солнечных панелей с мощностью 9 Вт (мощность панели требуется выбрать самим)

– 16,2 А\*ч – емкость батареи.

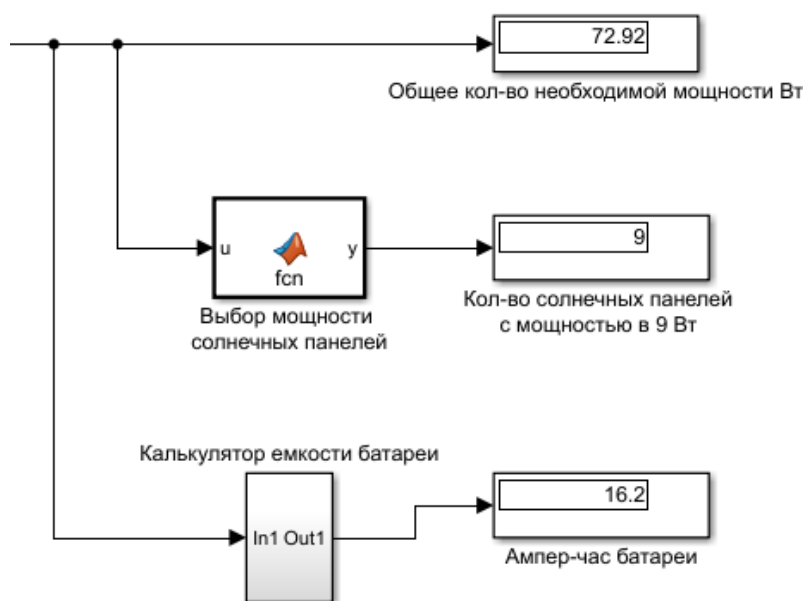


Рис. 4. Полученные данные

Таким образом, разработанный способ автоматического расчета является простым в использовании и не требует специальных навыков или знаний, а также позволяет автоматизировать процесс расчета, который впоследствии упрощает подбор комплектующих для солнечной электростанции.

Описанный в статье способ автоматического расчета является универсальным для любого региона, так как позволяет указать требуемые исходные данные конкретного региона, что является преимуществом среди других калькуляторов, которые используют усредненные значения.

Также преимуществом способа автоматического расчета является возможность определить требуемое количество солнечных панелей с определенной мощностью. При этом калькулятор позволяет учитывать коэффициент потерь электроэнергии на такие факторы, как питание следящей системы и прочих энергозатратных приборов, а также интенсивность

энергии и прочие индивидуальные предпочтения пользователей [1]. Описанный калькулятор прост в использовании и позволяет легко обновлять данные, которые могут устаревать в связи с изменением климатических условий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балли, М. Сольное фотоэлектричество: Анализ и расчет солнечной энергии / М. Балли, М. Фараго, Ж-Б. Фабрис. – М. : СоларПресс, 2005. – 372 с.
2. Луначарский, И. П. Электроснабжение солнечными электростанциями / И. П. Луначарский, А. С. Стрижа. – М. : Энергия, 2009. – 234 с.
3. Охоткин, Г. П. Методика расчета мощности солнечных электростанций / Г. П. Охоткин // Вестник Чувашского университета. – Чебоксары, 2013, № 3. – 230 с.
4. Уайз, Р. Э. Калькулятор солнечной энергии и проектирование солнечной системы / Р. Э. Уайз, П. Нелли, Г. М. Мастерс. – М. : Техносфера, 2013. – 192 с.
5. Щербаков, В. С. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде MATLAB и SIMULINK / В. С. Щербаков, А. А. Руппель, В. А. Глушеч. – Омск : СибАДИ, 2003. – 160 с.

УДК 66.047.75

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-45-47

*М. Н. Буза, А. В. Делев, А. Г. Алехин***ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ  
НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

В статье рассматривается задача определения угла естественного откоса сыпучих материалов. Проанализированы существующие устройства для измерения угла естественного откоса. Выбран подходящий способ измерения угла естественного откоса для разрабатываемой системы автоматического 3D измерения объема сыпучих веществ.

*Ключевые слова:* угол естественного откоса, сыпучие вещества.

*М. N. Buza, A. V. Del'gov, A. G. Alekhin***DETERMINATION OF THE NATURAL ANGLE  
OF REPLACEMENT OF BULK SUBSTANCES BASED  
ON THE TRIANGULATION MODEL****Volgograd State Technical University**

The article considers the problem of determining the angle of natural slope of bulk materials. The main theoretical provisions are considered, the existing devices for measuring the angle of natural slope of granular-lumpy material are analyzed. Based on the data obtained, the most suitable method of measuring the angle of natural slope for the developed system of automatic 3D measurement of bulk substances volume was selected.

*Keywords:* angle of natural slope, bulk substances.

Для толкования сущности исследуемых процессов и выработки практических решений необходимо проводить детальную и объективную оценку физико-механических свойств рабочих сред. Результаты исследований должны соответствовать свойствам рабочей среды. Основываясь на результатах исследований, решаются задачи проектирования технологий. Одним из таких физико-механических свойств сыпучих сред является угол естественного откоса.

Целью исследования является определение способа измерения величины естественного откоса для триангуляционной модели поверхности сыпучего вещества.

Задачи исследования:

- рассмотреть теоретические положения об определении угла ссыпания и угла естественного откоса зернисто-кускового материала;
- проанализировать существующие устройства для измерения угла естественного откоса, определить методы, используемые вычисления;
- использовать изученные методы для определения угла естественного откоса на триангуляционной модели.

Зернисто-кусковой материал, расположенный на наклонной плоскости при определенном

угле наклона начинает скатываться. Угол наклона, при котором материал начинается ссыпаться называется углом ссыпания. Фракция материала, а также форма кусочков влияет на вид движения сыпучего материала по наклонной поверхности. Существует два вида движения материала: скольжение и перекатывания. Скольжения происходит для материалов, у кусков которых есть плоские грани. Перекатывание наблюдается у материалов с элементами с формами близкими к шару.

Для нашего случая измерение проводится для слоя сыпучего материала, который имеет куски, приближенные к шарообразной форме. Но практика показывает, что перемещение слоя сыпучего материала, вопреки ожиданиям, несет характер скольжения, а не перекатывания, так как весь материал перемещается сплошной массой.

В наших исследованиях зерно-кусковой материал располагается на горизонтальной плоскости и насыпается сверху, что образует на поверхности конус. Угол между образующей конуса и горизонтальной плоскостью называется углом естественного откоса зерно-кускового материала (рис. 1).



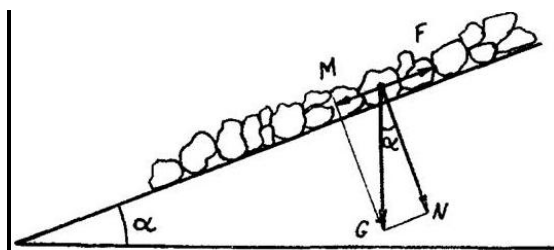


Рис. 1. Предельное состояние покоя кускового материала на наклонной плоскости:

$\alpha$  – угол сыпания зернисто-кускового материала,  $F$  – сила трения,  $G$  – сила тяжести,  $N$ ,  $M$  – проекции силы тяжести

Угол естественного откоса для конкретного материала всегда больше угла сыпания из-за того, что неровности материала не дают скатываться и тем более скользить кускам материала [1].

На угол естественного откоса влияет размер фракции материала, потому что крупные куски подвержены скатыванию намного больше, нежели мелкие куски, так как неровности поверхности оказывают меньшее сопротивление скатыванию крупных кусков. Измельченные куски сыпучего материала имеют больший угол естественного откоса из-за развитой поверхности трения.

Одним из важнейших свойств угла естественного откоса является зависимость от влажности измеряемого материала [2]. Вода, которая располагается на поверхности каждого из кусков, вызывает слипание и тем самым затрудняет движения отдельных кусков. Чем меньше фракция сыпучего материала, тем больше влияние влажности на угол естественного откоса [3].

В воздушно-сухом состоянии угол естественного откоса песчаного грунта равен  $30\text{--}40^\circ$ , под водой –  $24\text{--}33^\circ$ .

Знание углов естественного откоса и сыпания необходимо при проектировании складских помещений, транспортеров, шахтных печей, где имеют дело с сыпучими материалами. Невозможность учета теоретически всех факторов, определяющих величину этих углов, приводит к необходимости экспериментального их определения.

Одним из существующих средств для измерения угла естественного откоса является прибор УВТ (рис. 2), представляющий собой резервуар, в который помещается образец сыпучего вещества. По центру прибора располагается градуированная шкала, по которой определяется высшая точка конуса, а вдоль горизонтальной поверхности расположена шкала позволяющая определить радиус конуса.

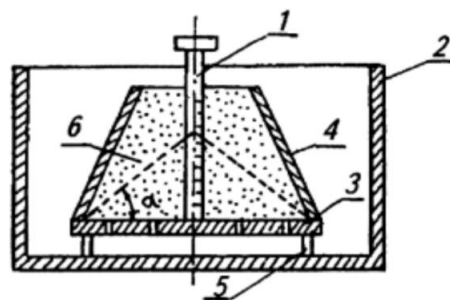


Рис. 2. Прибор УВТ:

1 – шкала; 2 – резервуар; 3 – перфорированная подставка; 4 – обойма; 5 – градуированная опора; 6 – образец песка

Угол естественного откоса будет определяться как арктангенс частного высоты конуса на радиус конуса [4].

Также для вычисления угла естественного откоса используют измерительный цилиндр (рис. 3).

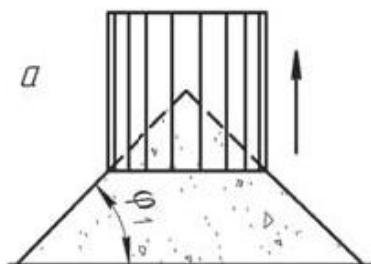


Рис. 3. Измерительный цилиндр, градуированный по высоте

Для того, чтобы провести вычисление необходимо рассыпать измеряемый материал на горизонтальной плоскости и на него поместить сверху измерительный цилиндр. Радиус цилиндра есть постоянная величина, а по градуируемой поверхности просто определяется значение для высшей точки конуса. Данный способ по сравнению с предыдущим немного упрощает измерение, так как нет необходимости измерять радиус конуса сыпучего вещества.

В разрабатываемой системе измерение поверхности происходит с помощью оптического сканера и не предполагается доступа к измеряемому веществу человека, что не дает использовать рассмотренные способы измерения угла естественного откоса, но эти способы могут стать основой для разработки.

От оптического сканера на выходе имеем облако точек в трехмерном пространстве, которые с помощью ПО преобразуются в триангуляционную модель (рис. 4). Эта модель является довольно точной копией измеряемого вещества и может использоваться для анализа. Рассматривая первый и второй способ измерения угла естественного откоса, можно сделать вы-

вод, что для расчета требуется самая высокая точка и точка, которая будет находится на краю фактической горизонтальной плоскости (как в первом рассмотренном способе) или на искусственно выбранной (как во втором способе).

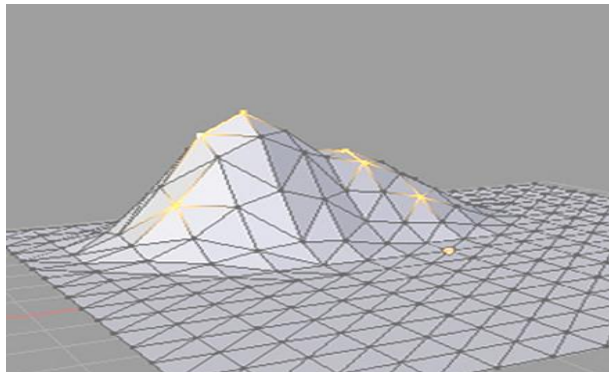


Рис. 4. Триангуляционная модель сыпучего вещества

Проводить измерение по внешнему краю исследуемой поверхности не имеет смысла, так как существует вероятность влияния внешних факторов на расположение точек. Например, грузовик, который отъезжал после выгрузки песка и кузовом сделал поверхность более полой.

Для того чтобы максимально исключить возможность совершения ошибок предлагается использовать несколько фиксированных окружностей для проведения измерения (рис. 5). Используя максимальную высоту насыпи, необходимо поделить на промежуточные кольца и измерять угол естественного откоса сначала от вершины насыпи, а затем между промежуточными кольцами. Среднее значение угла естественного откоса и будет использоваться для дальнейших вычислений.

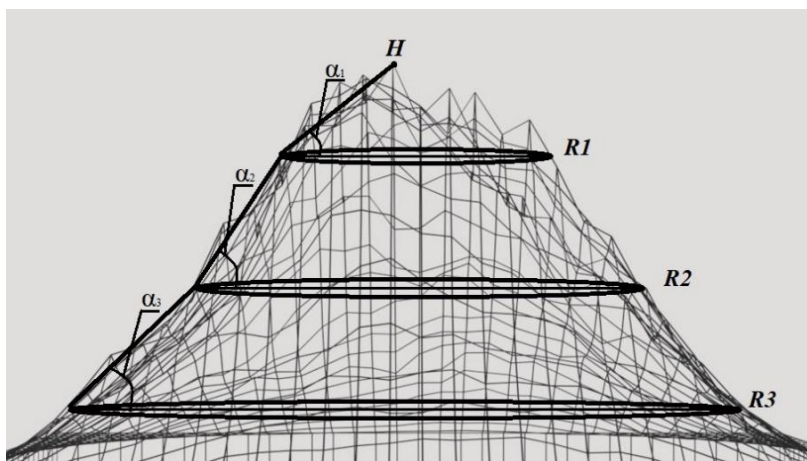


Рис. 5. Насыпь, разбитая на промежуточные кольца:  
R1, R2, R3 – промежуточные кольца, H – вершина насыпи,  
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – углы естественного откоса

В результате были рассмотрены теоретические положения об определении угла естественного откоса, рассмотрены распространенные способы измерения и выделены их особенности.

На основе изученных методов был выбран способ измерения угла естественного откоса для триангуляционной модели, позволяющий в дальнейшем определять влажность исследуемого сыпучего вещества, что даст возможность принимать наиболее экономически оправданные управляющие решения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перепелкин, М. А. Исследование угла естественного откоса строительных и рудных материалов при проекти-

ровании и разработке строительно-дорожных, горных машин и оборудования / М. А. Перепелкин, С. В. Перепелкина // Горная промышленность. – 2017. – № 4 (134). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-ugla-estestvennogo-otkosa-stroitelnyh-i-rudnyh-materialov-pri-proektirovanii-i-razrabotke-stroitelno-dorozhnyh-gornyh> (дата обращения: 03.02.2023).

2. Белоусов, Н. И. Исследование влияния угла естественного откоса от влажности извести / Н. И. Белоусов, М. И. Шор, А. А. Сметской // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-техн. конф., Курск, 28 октября 2022 года. – Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова, 2022. – С. 32–34.

3. Анализ процесса сдвига сыпучего материала / С. Г. Кондрашева, В. А. Лашков, Л. Г. Голубев, П. К. Кириллов. – 2003. – № 2. – С. 148–158.

4. Григор, А. С. Определение угла естественного откоса и угла внутреннего трения оборотной смеси / А. С. Григор // Ползуновский альманах. – 2019. – № 3. – С. 73–76.

УДК 66.012-52

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-48-50

*А. Д. Бунина<sup>1</sup>, О. А. Залипаева<sup>1</sup>, В. М. Ящук<sup>2</sup>, С. Г. Поступаева<sup>1</sup>***СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРНЫМ БЛОКОМ УСТАНОВКИ  
ГИДРОКОНВЕРСИИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ**<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет<sup>2</sup>АО «ВНИКТИ Нефтехимоборудование»

E-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Описана система управления реакторным блоком установки гидроконверсии тяжелого углеводородного сырья, построенная на основе распределенной микропроцессорной системы, позволяющая обеспечить высокое качество продукции.

*Ключевые слова:* система управления, гидроконверсия, суспензия нанокатализатора, каталитический реактор.

*A. D. Bunina<sup>1</sup>, O. A. Zalipaeva<sup>1</sup>, V. M. Iashchuk<sup>2</sup>, S. G. Postupaeva<sup>1</sup>***CONTROL SYSTEM FOR REACTOR UNIT OF HEAVY OIL  
RESIDUE HYDROCONVERSION PLANT**<sup>1</sup>Volgograd State Technical University<sup>2</sup>JSC «VNIKTI Neftekhimoborudovanie»

The control system for the reactor unit of heavy hydrocarbon hydroconversion plant, build on the basis of distributed microprocessor system is described, which allows ensuring high quality products.

*Keywords:* control system, hydroconversion, suspension of nanocatalyst, catalytic reactor.

Гидроконверсия – одно из эффективных направлений, повышающих глубину переработки тяжелой нефти и нефтяных остатков с целью производства из них легких и средних дистиллятов. Процесс гидроконверсии проводится в каталитических реакторах в присутствии большого объема водорода при температуре 425–440 °С и давлении 7,0–15,0 МПа [1, 2].

Предлагается проводить гидроконверсию в двух последовательно соединенных реакторах, в первом из которых процесс осуществляется в суспензионном слое, а во втором – в неподвижном слое катализатора [1].

На рис. показана технологическая схема реакторного блока установки переработки тяжелых нефтяных остатков с элементами контроля и управления технологическим процессом с использованием распределенной системы управления на основе микропроцессорных контроллеров и SCADA-системы.

Измерение технологических параметров процесса гидроконверсии осуществляется с помощью первичных преобразователей.

Управляющие воздействия для исполнительных устройств вырабатываются контроллером по разработанным алгоритмам в соответствии с параметрами заданными в SCADA-системе.

Работа реакторного блока осуществляется следующим образом.

Сырье – смесь тяжелых углеводородов поступает на установку и разделяется на два потока: один подается в емкость 1, второй – на линию всасывания сырьевого насоса 8.

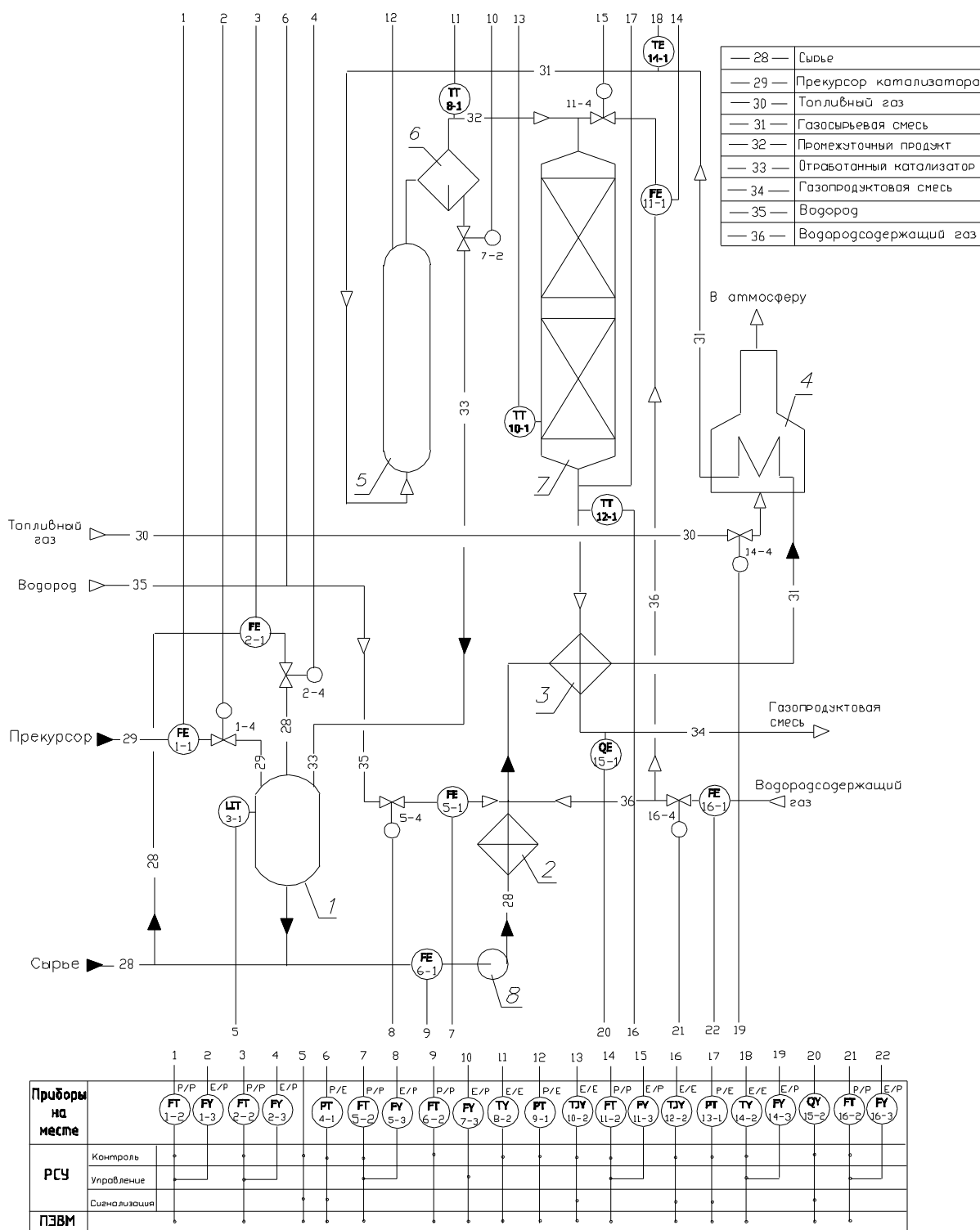
В емкости 1 на основе прекурсора нанокатализатора приготавливается суспензия, которая подается на смешение с сырьем перед насосом 8.

Объединенный сырьевой поток подается в теплообменник 2, обогреваемый горячими тепловыми потоками (на схеме не показаны), отводимыми с других аппаратов установки.

После теплообменника поз. 2 сырьевой поток смешивается в трубопроводе с водородом и водородсодержащим газом, подаваемым дожимными компрессорами. Ввод и смешение водородсодержащего газа с сырьевой смесью, содержащей суспензию нанокатализатора повышает степень диспергирования газовой фазы в жидкости и эффективность распределения компонентов сырья.

Сырьевая смесь нагревается в теплообменнике 3, обогреваемом газопродуктовым потоком, отводимым из реактора 7, и в печи 4, после чего поступает в реактор гидроконверсии с суспензионным слоем 5.

Температура сырьевой смеси подаваемой в реактор 5 регулируется путем изменения расхода топливного газа, подаваемого в печь 4.



Технологическая схема реакторного блока установки переработки тяжелых нефтяных остатков

В реакторе 5 в присутствии нанокатализатора под действием высоких давления и температуры происходит преобразование (конверсия) исходной смеси углеводородов с образованием ароматических углеводородов.

Из колонны промежуточный продукт поступает в горячий сепаратор высокого давл-

ния 6, из которого парогазовая фракция отводится в реактор 7 с неподвижным слоем катализатора, а жидкая отводится обратно в емкость 1 для повторной переработки.

В промежуточный продукт перед реактором 7 вводится компримированный водородсодержащий газ, очищенный от кислых примесей

на блоке абсорбционной очистки, что позволяет снизить нагрузку на печь 4 и повысить экономичность процесса за счет более полного использования тепла.

В реакторе 7 в слое катализатора проходят дальнейшие преобразования (конверсия) углеводородов с образованием сложных полиароматических соединений.

Давление в реакторах 5 и 7 поддерживается за счет регулирования работы насосов и дожимных компрессоров.

Для обеспечения высоких степеней превращения по целевым продуктам выбирается оптимальное распределение температур между реакторами 5 и 7, зависящее от вида, дисперсности, количества прекурсора катализатора для реактора 5, также типа катализатора, его количества и числа его слоев для реактора 7.

Газопродуктовая смесь из реактора 7 проходит через теплообменник 3, отдавая свое тепло сырьевой смеси, и поступает на дальнейшую переработку в блоки сепарации, фракционирования и стабилизации жидких продуктов и абсорбционной очистки газообразных продуктов.

Отбираемые легкие углеводороды используются в качестве добавки к топливному газу,

водородсодержащий газ используется на данной установке.

Получаемые жидкие продукты разделяются на бензин, дизельное топливо и газойль.

Тяжелый остаток передается в переработку на кокс.

Изменение технологического режима установки осуществляется после анализа результатов аналитического контроля (хроматографический анализ) на соответствие качества получаемых конечных продуктов нормативным показателям.

Достаточное количество статистических данных по качеству целевых продуктов позволяет выполнить оптимизацию технологического режима работы (по давлению и температуре) реакторов 5 и 7, что обеспечивает высокие технико-экономические показатели работы установки гидроконверсии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анчита, Х. Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов / Х. Анчита ; пер. с англ. под ред. О. Ф. Глаголевой, В. А. Винокурова. – Санкт-Петербург, ЦОП Профессия, 2015. – 592 с.

2. Antos, G. J. Catalytic naphtha reforming: Science and Technology / Edited by George J. Antos, Abdullah M. Aitani, Jose M. Parera. – New York : Marsel Dekker, Inc., 2004. – 602 p.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-50-54

*Ю. В. Васильева, В. Г. Барабанов*

#### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ УЛИЦ ГОРОДА НА ПЛК WIREN BOARD 7

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vasilyeva-vu@mail.ru

В статье представлен алгоритм с возможностью ручного управления наружным освещением улиц города. Написана программа на универсальном языке программирования *Python* в среде разработки *Visual Studio Code (VSC)*. Разработан стенд на основе ПЛК *Wiren Board* для тестирования и отладки программы.

*Ключевые слова:* автоматизированная система управления, наружное освещение, шкаф управления, блок-схема, стенд.

*Ju. V. Vasilyeva, V. G. Barabanov*

#### DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR CONTROLLING OUTDOOR LIGHTING OF CITY STREETS ON A WIREN BOARD 7 PLC

Volgograd State Technical University

The article presents an algorithm with the ability to manually control external lighting of city streets. The program was written in the universal Python programming language in the Visual Studio Code (VSC) development environment. A stand based on the Wiren Board PLC has been developed for testing and debugging the program.

*Keywords:* automated control system, outdoor lighting, control cabinet, block-diagram, stand.

Автоматизированная система управления наружным освещением (АСУНО) – это комплексная система, предназначенная для автоматизации и управления наружным освещением. Состав и структура АСУНО могут немного различаться в зависимости от конкретной задачи, требований и области применения, но обычно она включает в себя следующие основные компоненты: осветительные приборы, датчики (освещенности, движения и т. д.), шкаф управления наружным освещением (ШУНО), коммуникационная сеть (связь между всеми компонентами) [1].

В статье рассматривается шкаф управления, входящий в состав оборудования, необходимо для управления наружным освещением улиц города (рис. 1).



Рис. 1. Шкаф управления наружным освещением улиц города

Шкаф управления наружным освещением – это специализированное электрическое устройство, предназначенное для управления и обеспечения электропитания системы наружного освещения. Этот шкаф обычно устанавливается на открытой территории и содержит компоненты, необходимые для эффективного функционирования системы уличного освещения. Ключевым компонентом любого ШУНО является контроллер, поэтому при создании системы управления возникает задача написания управляющей программы для контроллера.

С помощью ШУНО можно регулировать степень освещенности улиц, т.е. яркость осветительных приборов, работу конкретных осветительных приборов, переключать систему в автономный режим и в режим ручного управления. В автономном режиме система будет ра-

ботать по заранее заданным настройкам. Примерами таких настроек могут быть: осветительные приборы будут загораться при срабатывании датчика движения, тем самым обеспечивая снижение энергозатрат; осветительные приборы будут загораться в определенное время суток на определенных участках улиц и т. д.

В ручном режиме система будет работать исходя из настроек оператора, заданных в режиме реального времени. Это необходимо в ситуациях, когда система по каким-либо обстоятельствам (аварии, ремонтные работы и т.п.) не может полноценно выполнять свои функции по заранее заданным сценариям и требуется участие человека. В ручном режиме оператор, исходя из полученных данных (состояния входов и выходов системы), может редактировать имеющиеся сценарии (например, обесточить осветительные приборы в заданной области) или задать новый режим с нуля.

При создании алгоритма управления автоматами сформирована требуемая последовательность работы всех элементов системы для достижения необходимой производительности. В программе должна быть обеспечена возможность ручного управления. Активация и завершение работы в ручном режиме осуществляется оператором с помощью перевода рычага из положений *ON/OFF* через сенсорный дисплей на корпусе ШУНО.

При переводе оператором рычага ручного режима в положение «*ON*» через дисплей управления система переходит в ручной режим, после чего будет доступна возможность управлением контакторами, т.е. режимами управления наружным освещением.

При переходе в ручной режим программа должна отслеживать все изменения в управлении, вносимые оператором, и вносить их в специальный файл-журнал, который является буфером для вносимых изменений. Также программа должна в режиме реального времени обновлять дисплей экрана ШУНО, который также демонстрирует текущий режим.

Программа управления наружным освещением написана универсальным языком программирования *Python* в среде разработки *Visual Studio Code (VSC)*. Также стоит отметить, что для написания программы для контроллеров *Wiren Board 7* подходит любой язык сценариев (скриптовый) [2, 3]. Для упрощения написания и восприятия программы часть функций были вынесены в отдельные подпрограммы (срав-

нение заданного режима с предыдущим, проверка установки ручного режима и т. д.). Блок-

схема основной программы представлена на рис. 2.

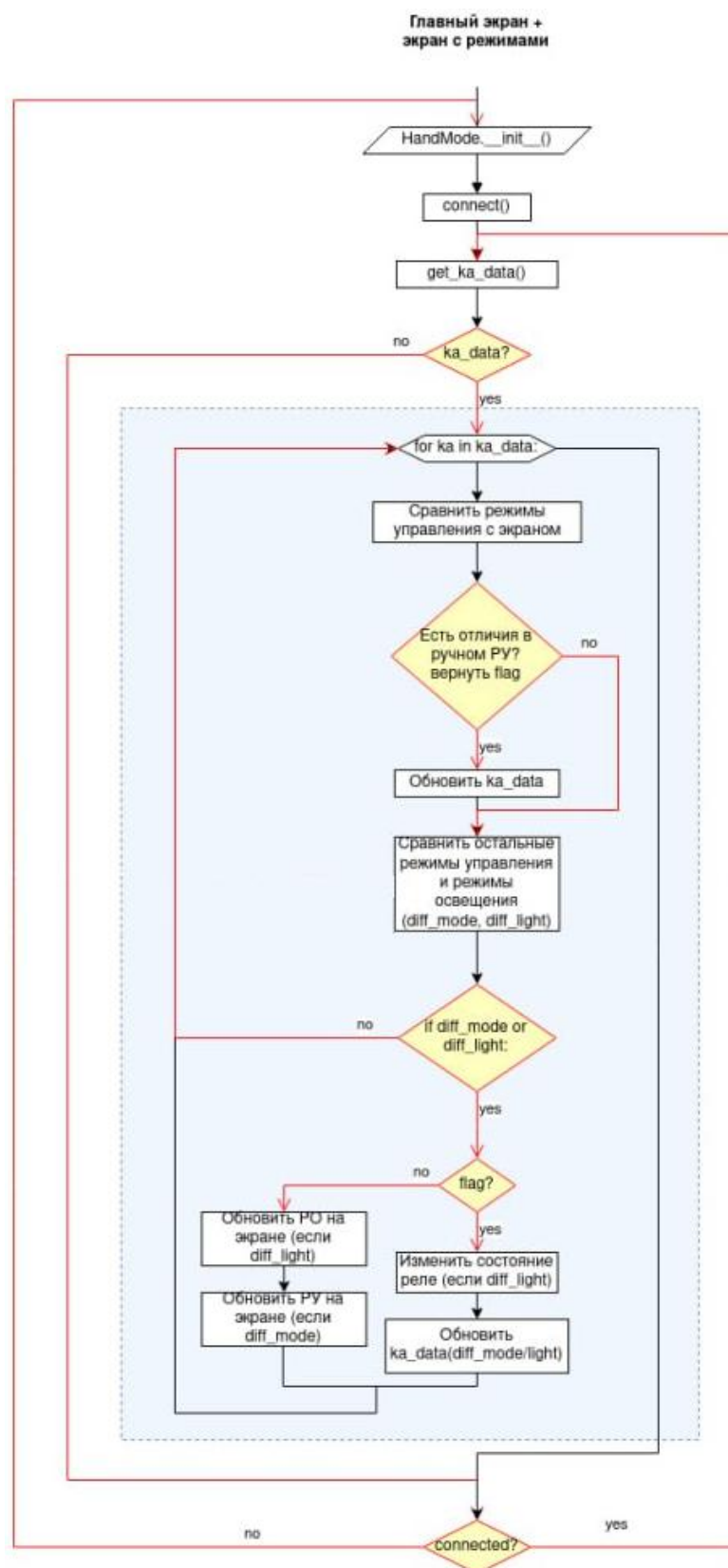


Рис. 2. Блок-схема основной программы



Согласно разработанному алгоритму управления, при переходе в режим ручного управления происходит проверка наличия файла-журнала, а также проверка на изменения в нем – был ли изменен режим управле-

ния. Если были внесены изменения, то данные в файле-журнала обновляются на актуальные и происходит обновление на экране дисплея. Пример листинга программы представлен на рис. 3.

```

1 > import asyncio...
11
12 FILE = os.path.basename(__file__)
13
14 class HandMode:
15 > def __init__(self): ...
49
50 > def connect(self): ...
58
59 > def connected(self): ...
61
62 > def hand_mode(self): ...
76
77     def check_hand_mode_flag(self):
78         # Реализация проверки флага ручного режима
79         # Ваш код проверки флага
80
81     def compare_modes_and_light(self, ka_data_entry):
82         # Реализация сравнения режимов управления и освещения
83         # Ваш код сравнения
84
85 > def handle_differences(self, ka_data_entry, flag): ...
89
90 # Основная часть программы
91 if __name__ == '__main__':
92     hm = HandMode()
93     hm.connect()
94     while True:
95         try:
96             hm.hand_mode()
97             if hm.connected():
98                 continue
99             else:
100                 break
101         except Exception as e:
102             hm.wb.log.write(f'Ошибка: {e}', '__main__')
103             break

```

Рис. 3. Пример листинга программы

Для тестирования и отладки программы авторами разработан стенд на базе ПЛК *Wired Board 7* с подключенными к нему тремя дополнительными модулями ввода-вывода *WBIO-DO-RIG-16*, а также реле выбора фаз *PВФ-02*,

реле промежуточное *МРП-2М-1* в количестве трех штук (рис. 4), реле контроля тока *РКТ-1* в количестве трех штук, автоматический выключатель *ВА9-1 С6* в количестве трех штук и автоматический выключатель *ВА9-2 В6*.

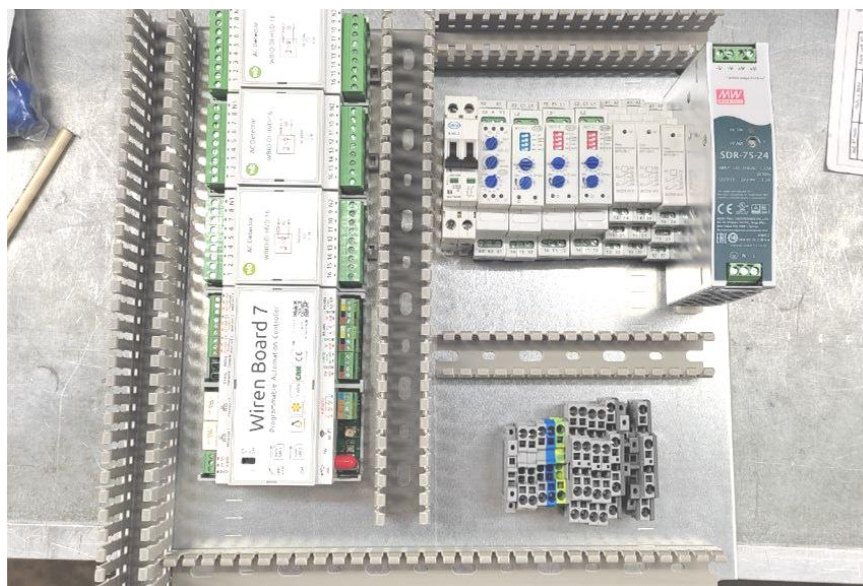


Рис. 4. Разработанный стенд на базе ПЛК Wiren Board 7

Результатом работы является программа управления наружным освещением улиц города, которая реализует все необходимые рабочие операции с отслеживанием аварийных ситуаций, обеспечивая при этом возможность ручного управления оператором.

Алгоритм протестирован и отлажен на разработанном стенде на базе ПЛК Wiren Board 7.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-54-57

*М. А. Волохов, А. В. Дроботов*

#### МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ НА СЛОИ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: maxim\_volohov@mail.ru

Рассматривается проблема сложности и длительности подготовки моделей к 3D-печати, с целью упрощения и ускорения этого трудоемкого процесса. Описана микросервисная система, которая генерирует G-код по запросу пользователя, особенности работы с форматами 3D-моделей и их преобразованием.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, автоматизация, 3D-печать, обработка информации, слайсинг, преобразование моделей, микросервисная архитектура, 3MF-формат.

*М. А. Volokhov, A. V. Drobotov*

#### METHODS FOR CONVERTING AND DIVIDING A 3D-MODEL INTO LAYERS

Volgograd State Technical University

The problem of the complexity and duration of preparing models for 3D-printing is considered in order to simplify and accelerate this time-consuming process. A micro-service system that generates a G-code at the user's request, features of working with 3D-model formats and their transformation are described.

**Keywords:** 3D-printer, automation, 3D-printing, information processing, slicing, model transformation, micro-service architecture, 3MF-format.

Аддитивное производство произвело революцию в промышленности, позволив создавать изделия сложной геометрии при низком расходе материалов, зачастую выигрывая также в себестоимости у традиционных методов изготовления. Однако одним из ограничений аддитивного производства является сложность и длительность подготовки *3D*-моделей к печати, так как оператор проводит ряд действий вручную. Одним из этапов подготовки к печати является нарезка (деление) модели на слои и генерация

*G*-кода – алгоритма производства изделия на машинном языке. В этой работе предлагается система упрощенной и ускоренной подготовки *3D*-моделей к печати в облачном сервисе и описаны основные особенности взаимодействия разрабатываемой системы с программами нарезки *3D*-модели на слои.

Разрабатываемый облачный сервер состоит из двух микросервисов: *rabbitmq-server* и *slicer-engine-server*, изображенных на рис. 1.



Рис. 1. Схема организации разрабатываемого облачного сервера

Первый микросервис в облачном сервисе – *rabbitmq-server* – является промежуточным звеном между клиентом и микросервисом нарезки модели *slicer-engine-server*. Он предварительно обрабатывает нарезаемую модель и формирует сообщение во второй сервис. Микросервис *rabbitmq-server* подготовки содержит в основе себя брокер сообщений *RabbitMQ* на основе протокола *AMQP*, брокер позволяет общаться сервису с клиентской частью системы, от которой поступает запрос на подготовку модели. Сервер *RabbitMQ* имеет обменник, который складывает сообщения в две очереди: одна – для получения сообщений запроса подготовки от клиента, а другая – для отправки итогового *G*-кода обратно клиенту. В запросе передаются данные в *JSON* формате в байтовом представлении. Они включают уникальный номер запроса, ссылку на *3D*-модель, параметры ис-

пользуемых экструдеров, а также глобальные настройки печати.

Когда сообщение запроса от клиента попадает в очередь, на которую есть подписка у *rabbitmq-server*, то микросервис считывает его и удаляет из очереди. Затем идет чтение запроса, в начале которого определяется формат *3D*-модели, от которого зависит алгоритм последующей обработки. Если модель имеет формат *STL* (набор треугольных полигонов, образующих поверхность *3D*-модели), то из нее определяются массивы вершин и индексов, формирующих полигоны. В одном полигоне находится три вершины, однако вершина может быть общей для нескольких полигонов. На рис. 2 видно, что индексы состоят из трех чисел, указывающих на номера вершин полигона. Так индексы [3, 4, 5] и [4, 3, 6] будут иметь две общие вершины 3 и 4, а значит – общую сторону.

Формат STL	Формат 3MF
Вершины модели	Вершины модели
[ [-1.0000000e+01 2.0000000e+01 1.0000000e+01]	[ [-10. 10. 10.]
[ 1.0000000e+01 2.0000000e+01 1.0000000e+01]	[ 10. 10. 10.]
[ -1.0000000e+01 2.0000000e+01 -1.0000000e+01]	[ -10. 10. -10.]
[ 1.0000000e+01 4.04357911e-07 -1.0000000e+01]	[ 10. -10. -10.]
[ -1.0000000e+01 4.04357911e-07 1.0000000e+01]	...
[ -1.0000000e+01 4.04357911e-07 -1.0000000e+01]	[ -10. -10. 10.]
[ 1.0000000e+01 4.04357911e-07 1.0000000e+01]	[ 10. 10. -10.]
[ 1.0000000e+01 2.0000000e+01 -1.0000000e+01]	[ 10. -10. -10.]
[ -1.0000000e+01 2.0000000e+01 -1.0000000e+01]	[ -10. -10. -10.]
Индексы вершин (формируют полигоны)	Индексы вершин (формируют полигоны)
[ [0 1 2]	[ [ 0 1 2]
[ [3 4 5]	[ [ 3 4 5]
[ [4 3 6]	[ [ 6 7 8]
[ [7 2 1]	[ [ 9 10 11]
[ [4 6 1]	[ [12 13 14]
[ [4 2 5]	[ [15 16 17]
[ [7 1 6]	[ [18 19 20]
[ [5 2 7]	[ [21 22 23]
[ [4 0 2]	[ [24 25 26]
[ [6 3 7]	[ [27 28 29]
[ [1 0 4]	[ [30 31 32]
[ [7 3 5]]	[ [33 34 35]]

Рис. 2. Отличие полигонов между STL и 3MF-форматом

Модель на обработку может поступить в формате 3MF, который был разработан на основе XML формата специально для 3D-печати. Он представляет из себя архив проекта, содержащий файл с моделью и параметры проекта. У модели в формате 3MF индексы вершин идут по порядку, потому что в массиве вершин модели указываются координаты всех вершин и для каждого полигона уже в нужном порядке. Можно заметить, что в массиве вершин STL-формата нет вершин с одинаковыми координатами, а в формате 3MF они присутствуют.

Важным преимуществом 3MF-формата является содержание дополнительной информации, например, единицы измерения, данных по цветам, поддержкам, а также положению в пространстве относительно рабочей области печати. Положение модели задается относительно нижне-левого угла в виде матрицы перемещения. С помощью матрицы преобразований помимо перемещения также задается масштабирование и поворот модели относительно каждой оси. На рис. 3 отображены смещения по осям X, Y и Z в последнем столбце, если прибавить эти координаты к каждой вершине модели, то она сместится на центр рабочего стола.

Трехмерная матрица преобразования			
[ [ 1.	0.	0.	157.5 ]
[ 0.	0.	-1.	150.1499939 ]
[ 0.	1.	0.	10. ]
[ 0.	0.	0.	1. ] ]

Рис. 3. Трехмерная матрица преобразования 3MF-модели

Важной особенностью работы с 3D-моделями является определение направлений осей Y

и Z координатной системы. Это связано с тем, что в разных программах и системах используется разная координатная сетка. Для решения этой проблемы необходимо повернуть систему координат, поменяв оси Z и Y местами, а также умножив все координаты вершин по оси Y на -1.

3MF также поддерживает наличие групп и составных моделей. Если в файле несколько изделий, то матрица преобразования будет составляться для каждой модели отдельно.

Второй микросервис в облачном сервисе – *slicer-engine-server* – отвечает за нарезку модели и генерацию G-кода. Для разделения модели на слои используется открытое консольное приложение *CuraEngine*, но для него данные сначала нужно подготовить в формате сообщений *ArcusMessage*, чтобы передавать между сокетами. По умолчанию *CuraEngine* может нарезать модель только на плоские горизонтальные слои, однако изменяя алгоритмы движка, можно добиться и других форм нарезки. После расшифровки массива глобальных настроек печати, они приводятся к более удобному и читаемому виду, когда тип параметра исходит из его названия. Если в пришедшем сообщении установлен режим печати "*classic*", то используется *CuraEngine*, для которого объявляются типы сообщений, устанавливается IP адрес и номер порта для взаимодействия.

Если во время считывания сообщения модели от *RabbitMQ* микросервиса данные матрицы преобразования пусты, то находится нижняя координата модели, потому что модель может находиться ниже рабочей области. На рис. 4 слева отображена модель с пустой матрицей



преобразования, а справа модель, перенесенная на центр и поднятая из-под рабочей области печати.

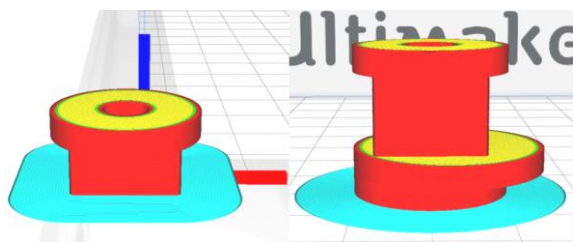


Рис. 4. Модель до и после преобразования

Для определения нижней точки 3D-модели создается сетка по присланным вершинам и индексами вычисляется аппроксимация выпуклой оболочки массива вершин, которая возвращает минимальные и максимальные координаты модели для каждой оси. Этим значениям хватает для определения ширины, высоты, глубины, центра и каждой стороны нарезаемой модели. Также для модели создается новая матрица преобразования с масштабом 1:1:1 и перемещением на центр рабочего стола, ширина и глубина области печати берутся из прочитанных глобальных настроек. Все координаты по оси  $Y$  поднимаются на величину, которую имеет нижняя координата модели, это необходимо для поднятия фигуры на рабочий стол.

Из полученной матрицы преобразования берется матрица масштабирования и матрица перемещения, изображенные на рис. 5, а, б. Первая перемножается на вершины модели, а вторая суммируется с координатами  $A$ ,  $B$  и  $C$ . После данного преобразования производится смена осей  $Y$  и  $Z$ . На этом этапе модель вне зависимости от формата становится на середину рабочей области с измененным масштабом и осями координат. После этого модель готова к отправке в *CuraEngine* с записью всех данных в класс *ArcusMessage*.

$$\begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 5. Матрицы преобразования:  
а – матрица масштабирования; б – матрица перемещения

В случае, если режим печати выбран не «*classic*», то изменяется структура подготовки сообщения перед отправкой в сокет, так как будет использоваться другой движок нарезки. Из-за его особенностей уже необходимо инициализировать другие типы сообщений, ввести новые настройки печати и изменять команды  $G$ -кода, например, координатную систему принтера.

Данная разрабатываемая система позволит операторам 3D-принтеров не быть привязанным к определенному рабочему месту со специализированным программным обеспечением. Она помогает готовить модель к печати и отправлять ее на печать с любого устройства с доступом в интернет, хоть с телефона. Из дополнительных положительных моментов можно отметить то, что у конечных пользователей пропадает необходимость самостоятельной установки обновлений программ, потому что все последние изменения как сервера, так и движка нарезки всегда будут производиться на сервере. За счет отсутствия графического интерфейса (при взаимодействии компонентов сервера) повышается скорость нарезки, но не пропадает ее информативность. Также система является гибкой, в нее легко можно добавить новые режимы печати и привязать слайсеры моделей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Особенности развития 3D печати и возникающие при этом проблемы / У. Ф. Сухих, Т. Э. Замалеев, Ф. Ф. Ахметсафина, М. Ф. Шаехов // Новые технологии и материалы легкой промышленности : матер. XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с элементами научной школы для студентов и молодых ученых, Казань, 16–20 мая 2022 года. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2022. – С. 108–110. – EDNYEXZEN.
2. Модуль подготовки деталей к печати в программном комплексе «Виртуальный 3D-принтер» / Е. А. Синицин, О. И. Бритова, В. В. Попов [и др.] // Молодежь в науке : сб. докл. 19-й науч.-техн. конф., Саратов, 09–11 ноября 2021 года. – Саратов : ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», 2022. – С. 150–156. – DOI 10.53403/9785951505200\_150. – EDN LFUSZA.
3. Grechukhin, A. N. Model of Filling the Internal Structure of Workpiece with Curved Layers for 3D Printing / A. N. Grechukhin, V. V. Kuts // Materials Research Proceedings, Temryuk, 06–10 сентября 2021 года. – Temryuk, 2022. – P. 317–322. – DOI 10.21741/9781644901755-56. – EDN VPXMYU.

УДК 66.021.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-58-60

*А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, С. Г. Поступаева, А. Д. Кривко***ИНЕРЦИОННЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ СЕПАРАТОР  
С САМОРЕГУЛИРОВАНИЕМ ПЕНОГАШЕНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Рассматривается процесс сепарации дисперсной фазы в инерционном сепараторе. Предлагается усовершенствованная конструкция резонансного сепаратора, конструктивные особенности которого обеспечивают регулирование процесса пенообразования. Приводится формула для подбора оптимальной упругости цилиндрической пружины, позволяющая генерировать колебания пружинного маятника с заданной частотой. Определяется амплитуда колебаний отражателя с отсекающей тарелкой с учетом сопротивления жидкой среды.

*Ключевые слова:* инерционный сепаратор, резонанс, пенообразование, саморегулирование, частота, амплитуда.

*A. B. Golovanchikov, O. A. Zalipaeva, S. G. Postupaeva, A. D. Krivko***INERTIAL RESONANT SEPARATOR  
WITH SELF-REGULATING DEFOAMING****Volgograd State Technical University**

The process of separation of the dispersed phase in the inertial separator is considered. Improved design of resonant separator is proposed, design features of which provide for control of foaming process. The formula for selecting the optimal elasticity of the coil spring is given, which allows generating oscillations of the spring pendulum at a given frequency. The amplitude of vibrations of the reflector with the cutoff plate is determined taking into account the resistance of the liquid medium

*Keywords:* inertial separator, resonance, foaming, self-regulation, frequency, amplitude.

Сепараторы широко используются в химической, нефтехимической, газоперерабатывающей и других отраслях промышленности. Они применяются при промысловой подготовке нефти и газа на нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождениях, а также в процессах переработки нефти, газа и газового конденсата и служат для отделения дисперсной фазы (твердых и капельных включений) из углеводородных смесей.

По основной сепарирующей силе (физическим принципам разделения газожидкостных систем) конструкции сепараторов подразделяются на два класса: гравитационные и инерционные.

В гравитационных сепараторах разделение фаз происходит за счет силы тяжести. Для эффективного улавливания малых капель и частиц из суспензионного газожидкостного потока под действием силы тяжести требуется значительное время. В связи с этим гравитационные сепараторы, как правило, крупногабаритные и имеют несколько сепарационных секций.

Инерционные сепараторы могут быть малогабаритными и использоваться для разделения

малых объемов нефтегазовой смеси [1]. Разделение фаз в таких сепараторах происходит под действием сил инерции при обтекании газожидкостной смесью различных препятствий (дополнительных элементов) или при закручивании потока в съемных центробежных патрубках. Дополнительные элементы могут быть выполнены жалюзийными, сетчатыми, уголковыми, в виде колец Рашига или входных перегородок, а центробежные патрубки – в виде циклонов различной конструкции.

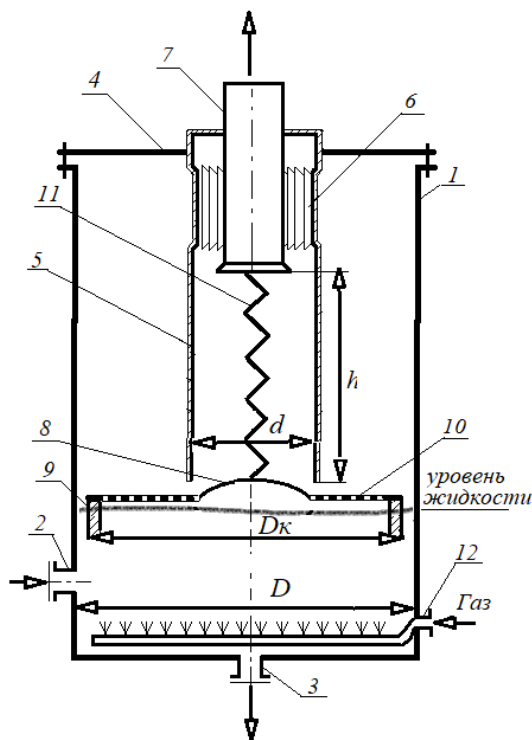
Одним из основных недостатков процесса сепарирования нефтегазовой смеси в инерционных массообменных аппаратах является пенообразование и унос капель жидкой фазы. Для нивелирования этих процессов увеличивают размеры сепараторов и, соответственно, число ступеней сепарации, что требует дополнительных капитальных затрат.

Для борьбы с пенообразованием широко применяют антипенные присадки, которые не должны растворяться в нефтегазовой смеси, а лишь диспергироваться в ней. Нефтегазовые смеси имеют самый разнообразный состав, изменяющийся не только от месторождения к ме-

сторождению, но и от температурных и временных характеристик. Поэтому подбор присадок должен проводиться с учетом физико-химических и геометрических параметров процесса сепарации.

Целью работы является разработка конструкции инерционного резонансного сепаратора с подавлением пенообразования и нивелированием уноса капель жидкой фазы.

Предлагается усовершенствованная конструкция инерционного сепаратора, в котором присоединенные на пружине отражатель с отсекающей тарелкой вибрируют с оптимальной амплитудой, достаточной для автоматического подавления излишнего пенообразования при работе аппарата [2, 3].



Инерционный сепаратор

Инерционный сепаратор состоит из цилиндрического корпуса 1 с патрубками подвода 2 и отвода 3 жидкости, съемной крышки 4. На крышке закреплено центробежное устройство, содержащее вертикальный корпус 5, тангенциальное устройство для подачи очищаемого газового потока 6, центральную газоотводящую трубу 7, отражатель 8 массой  $m$ , выполненный в виде шарового сегмента. Края шарового сегмента отражателя 8 соединены с отсекающей тарелкой массой  $M$ , выполненной в виде кольца 9 с положительной плавучестью и с прикрепленной к его верхней части сеткой 10. К цен-

тральной газоотводящей трубе 7 прикреплена верхняя часть пружины 11, на которой подвешены отражатель 8 и отсекающая тарелка. В нижней части аппарата установлен барботер 12 в виде цилиндрической трубки с отверстиями.

В аппарат 1 по патрубку 2 заливают жидкость. По патрубку барботера 12 подают газовый поток, барботируя им залитую в аппарат 1 жидкость. Пузырьки газового потока поднимаются вверх, проходят сквозь отверстия в сетке 10, и, поднимаясь выше, проходят через щели тангенциального устройства 6, в котором, за счет резкого изменения скорости по величине и направлению, разделяются на капельки жидкости, частицы дисперсной фазы и очищенный газовый поток. Отделенные при прохождении через тангенциальное устройство 6 от газового потока капли и частицы отбрасываются центробежной силой к внутренней стенке корпуса 5 центробежного устройства и оседают на поверхность сферического сегмента отражателя 8, а затем с его поверхности на сетку 10. Внутри вертикального корпуса 5 высотой  $h$  газовый поток закручивается вместе с содержащимися в нем капельками жидкости и частицами дисперсной фазы. Очищенный газовый поток выходит наружу через газоотводящую трубу 7. После окончания работы жидкость удаляется из аппарата по патрубку 3 и подача газового потока в барботер 12 прекращается. Колебания отражателя 8 и кольца 9 с сеткой 10 с оптимальной амплитудой подавляют образование пены и унос капель жидкости с ее поверхности при барботаже газового потока сквозь ячейки сетки 10.

Деформация цилиндрической пружины 11 перед подачей исходных сред в аппарат 1 определяется по формуле:

$$A = \frac{g(M + m)}{K}, \quad (1)$$

где  $K$  – упругость витков цилиндрической пружины, Н/м.

При подаче исходных сред в аппарат 1 в вертикальном корпусе 5 центробежного устройства возникают вынужденные колебания звуковой волны, частота которых определяется в виде

$$\nu = \frac{c}{2h}, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость звука в очищаемом газовом потоке, м/с.

Для генерирования колебаний подвешенного на пружине отражателя 8 с отсекающей тарелкой подбирается упругость цилиндрической пружины 11, соответствующая уравнению ра-



венства частоты вынужденных колебаний  $\nu$  звуковой волны и собственной частоты колебаний пружины  $\nu_m$  с отражателем 8 и отсекающей тарелкой [2]

$$K = (M + m) \left( \frac{\pi c}{h} \right)^2 \quad (3)$$

При погружении кольца 9 отсекающей тарелки в исходную жидкость амплитуда колебаний 40 отражателя 8 с отсекающей тарелкой будет зависеть не только от массы пружинного маятника (отражателя 8 с отсекающей тарелкой) и упругости цилиндрической пружины 11, но и от геометрических размеров погружаемого кольца 9 и физико-химических свойств жидкости [3]

$$\frac{A_0}{A} = \frac{\nu_m (D_k - D)(M - m)}{\mu D_k h_n}, \quad (4)$$

где  $h_n$  – глубина погружения кольца 9 в жидкость, м;  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости, Па·с;  $\nu_m$  – собственные колебания пружинного маятника, близкие частоте вынужденных колебаний  $\nu$ , создаваемыми газовым потоком в вертикальном корпусе 5 и определяемые из уравнения [4, 5].

$$\nu_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M + m}}. \quad (5)$$

По сути, предлагаемая конструкция инерционного сепаратора обладает эффектом саморегулирования при гашении образующейся пены. Так, при увеличении в аппарате пенообразования уменьшается вязкость среды и глубина погружения кольца 9, что приводит к увеличе-

нию амплитуды собственных колебаний пружинного маятника (формула 4) и интенсивному подавлению образовавшейся пены, предотвращается нежелательный унос капель жидкости. При небольшом пенообразовании амплитуда колебаний пружинного маятника снижается, пружинный маятник работает в режиме, близком к статическому.

Предлагаемая конструкция инерционного сепаратора работает в режиме саморегулирования при гашении нежелательного пенообразования без дополнительных сепарационных секций и ввода антипенных присадок, что обеспечивает оптимальный режим работы аппарата.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тронов, В. П. Сепарация газа и сокращение потерь нефти / В. П. Тронов. – Казань : «Фэн», 2002. – 408 с.
2. П. м. 208946 Российская Федерация, МПК В01Д 45/02, В01Д 45/12 Массообменный аппарат / А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, Е. В. Шишкин, Н. А. Меренцов, Н. А. Прохоренко, П. П. Залипаев ; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2022.
3. Расчеты амплитуды колебаний в резонансных и околорезонансных процессах вибрирующего центробежного сепаратора / А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, Н. А. Меренцов, Ю. Н. Раева // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 453–462.
4. Элементарный учебник физики. Т. 3 / под ред. Г. С. Лансберга. – Изд. 10-е, перераб. – М. : Наука, 1986. – 656 с.
5. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. – 8-е изд., перераб. и испр. – М. : ООО «Издательство Оникс : ООО «Издательство «Мир и Образование», 2006. – 1056 с.

УДК 621.9 (031)

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-60-65

**Е. Г. Крылов, Н. В. Козловцева, А. Ю. Горелова, В. В. Зинченко**

#### **УСТРОЙСТВО И ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ СМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

В статье описана методика функционирования автоматического загрузочно-сортировочного устройства для распределения сменных инструментальных твердосплавных пластин по группам качества на основе измерения их магнитоэлектрических характеристик и разработано программное обеспечение для проведения статистического анализа партии пластин.

**Ключевые слова:** многолезвийный инструмент, режущая пластина, автоматическая сортировка, коэрцитивная сила, статистический анализ.

*E. G. Krylov, N. V. Kozlovtsseva, A. Yu. Gorelova, V. V. Zinchenko*

# DEVICE AND PROGRAM FOR INDEXABLE CUTTING INSERTS AUTOMATIC SORTING

**Volgograd State Technical University**

The article describes the functioning procedure of an automatic loading and sorting device for distributing indexable cutting inserts into quality groups based on measuring its magnetoelectric characteristics and developed software for carrying out a statistical analysis of an inserts batch.

**Keywords:** multi-blade tool, indexable insert, automatic sorting, coercive force, statistical analysis.

Производство сменных твердосплавных многогранных режущих пластин содержит большое количество сложных технологических операций, каждая из которых влияет на химический состав и физико-механические свойства готовых изделий. В результате анализа стадий технологического процесса изготовления твердых сплавов был сделан вывод, что стадия выходного контроля изделий является наименее отлаженной составляющей и одновременно наиболее важной с точки зрения определения свойств продукции.

Это обусловлено тем, что на завершающем этапе производства в химическом составе одной марки твердого сплава существует некоторый диапазон изменения количества карбидов, кобальта и углерода, который разрешается стандартами завода-изготовителя. Наличие указанного диапазона приводит к такому разбросу режущих свойств твердосплавных пластин, который является нерациональным с точки зрения обеспечения надежности обработки в автоматизированном производстве [1]. Одним из вариантов повышения эффективности использования твердосплавных изделий является контроль их режущих свойств по магнитоэлектрическим характеристикам с их последующей сортировкой по группам качества, что позволит получить изделия с одинаковыми или максимально близкими свойствами внутри одной группы распределения [2].

Для повышения качества функционирова-

ния сборного многолезвийного инструмента на станках с программным управлением разработано устройство для автоматической сортировки твердосплавных режущих пластин по группам качества [3]. В основу работы устройства положен способ автоматизированного бесконтактного измерения коэрцитивной силы пластин и математической обработки полученных результатов испытаний [4].

Принцип работы устройства заключается в автоматическом ориентировании пластин в вибрационном бункерном загрузочном устройстве (ВБЗУ), измерении коэрцитивной силы с помощью стандартного прибора (коэрцитиметра) и последующего их распределения на группы качества с одинаковыми или близкими режущими свойствами в зависимости от измеренного значения.

Устройство работает следующим образом (рис. 1). Пластины одной геометрической формы и одной марки твердого сплава засыпаются в чашу ВБЗУ. При подаче напряжения и установки необходимых параметров колебаний пластины начинают постепенно расходиться от центра чаши к ее стенкам и заходить на винтовую транспортную дорожку чаши. Двигаясь вверх за счет сил инерции, пластины доходят до конца дорожки и оказываются на лотке-скате. При перемещении по лотку-скату пластина стопорится с помощью отсекающих устройств, которые последовательно заходят в отверстия лотка.

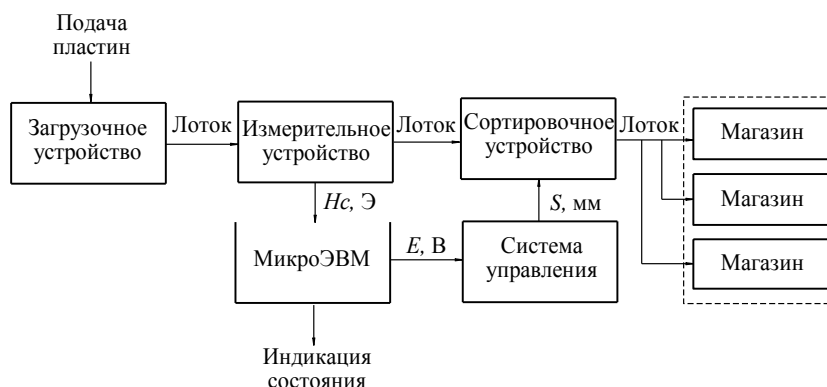


Рис. 1. Структурная схема устройства

Первый отсекаТЕЛЬ выйдя из отверстия в лотке, пропускает очередную пластину, а второй отсекаТЕЛЬ, находясь в лотке, удерживает от перемещения вниз остальные пластины. Далее пластина поступает на измерительную позицию, где захватывается призматическими наладками. В течение 5 секунд производится измерение коэрцитивной силы путем намагничивания и размагничивания пластины с помощью феррозондового коэрцитиметра. Измеренное значение коэрцитивной силы поступает на вход микроЭВМ (вычислительный блок, программируемый контроллер), запоминается и обрабатывается с помощью специального программного обеспечения. В зависимости от полученного значения микроЭВМ формирует сигнал в систему управления устройством.

Электродвигатель включает пневмопривод (последовательно соединенные компрессор, пневмопанель и пневмоцилиндр двустороннего действия), который управляет перемещением задвижки (открыта – закрыта) на сортировочном устройстве. Одновременно с открытием задвижки пластина с измерительной позиции поступает в сортировочное устройство, которое представляет собой сочетание подвижного и неподвижного револьверных дисков с радиальными пазами. Геометрические размеры и форма пазов выбираются в зависимости от заданного типоразмера твердосплавной пластины. Количество пазов должно соответствовать числу групп сортировки, которое для пластин марок ВК и ТК равно шести. Электродвигатель через зубчатую передачу постоянного зацепления вращает подвижный диск и при совмещении пазов на дисках пластина при открытой задвижке перемещается по отводному лотку в заданный бункер накопитель. Следующая пластина поступает на измерительную позицию только после того, как предыдущая пластина оказывается на позиции отводного лотка.

Теоретический расчет производительности работы комплекса показал, что при загрузке партии четырехгранных твердосплавных режущих пластин ГОСТ 19086–80 с диаметром описанной окружности 25,4 мм в количестве 150 штук время непрерывной работы комплекса составляет 25 минут, при этом цикл измерения и сортировки одной пластины составляет 10–12 секунд.

Для выполнения статистического анализа и последующего хранения данных о режущих свойствах партии сменных инструментальных пластин после их автоматической сортировки разработано прикладное программное обеспечение, схема алгоритма работы которого показана на рис. 2 и 3.

Начальным этапом анализа является составление интервального статистического ряда распределения случайных величин.

Такой ряд задает статистическое распределение в виде последовательности интервалов и соответствующих им частот или относительных частот, при этом интервал, в котором заключены все наблюдаемые значения признака, разбивает на отдельное количество частичных интервалов  $k$ .

По полученным в ходе эксперимента данным строится эмпирическое распределение случайных величин коэрцитивной силы в виде гистограммы, на основании которой вычисляются существенные числовые характеристики распределения и осуществляется проверка соответствия экспериментальных данных одному из теоретических законов распределения случайных величин (нормального, экспоненциального, равномерного, Вейбулла) с использованием одного или нескольких критериев согласия (Пирсона, Стьюдента, Фишера, Колмогорова). Критерий согласия подтверждает или опровергает гипотезу о виде выбранного теоретического закона распределения с принятым уровнем значимости  $\alpha$ .

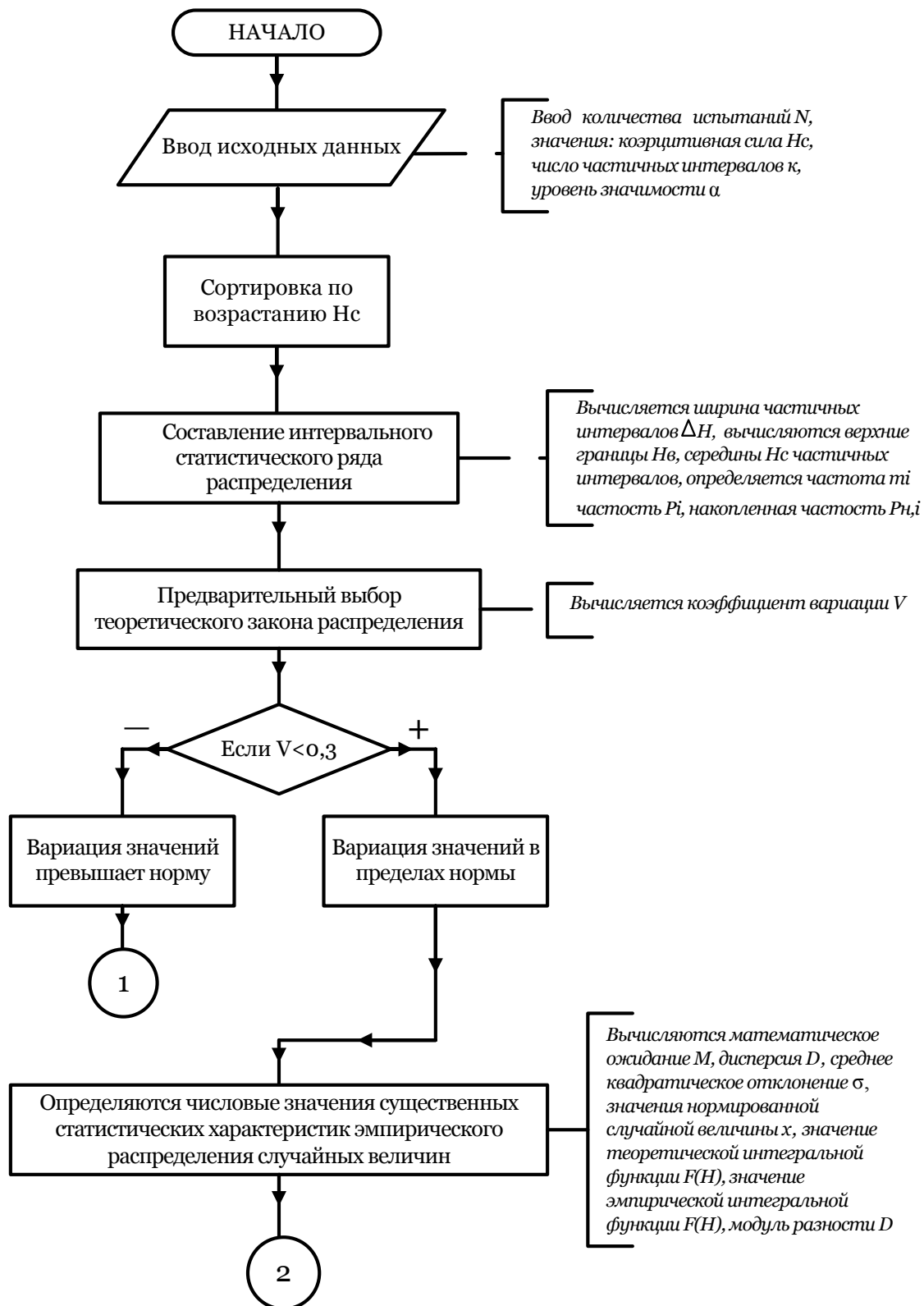


Рис. 2. Общий алгоритм работы программы (начало)

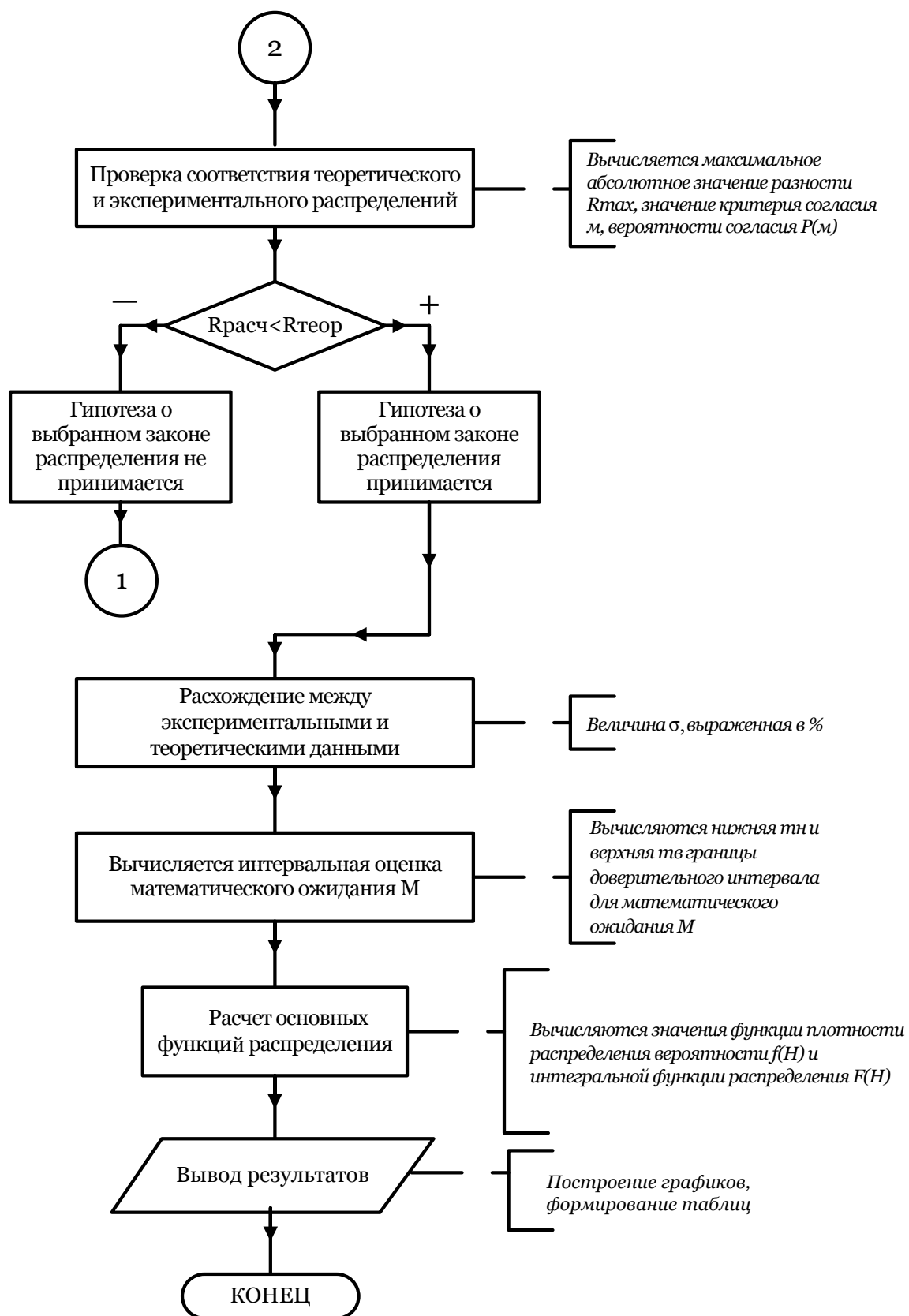


Рис. 3. Общий алгоритм работы программы (конец)

Данная программа может быть использована в автоматизированной системе технологической подготовки производства для уменьшения подготовительно-заключительного времени на обработку изделий многолезвийным инструментом и ведения базы данных по инструментальным пластинам.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов, Е. Г. Автоматизация подготовки инструментального оснащения обрабатывающего оборудования

с ЧПУ: монография / Е. Г. Крылов. – Волгоград : ВолгГТУ, 2018. – 139 с.

2. Плотников, А. Л. Рациональное комплектование сборных многолезвийных твердосплавных инструментов / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. В. Дудкин // СТИН. – 2011. – № 6. – С. 14–17.

3. П. м. 124597 РФ, МПК В07С5/00. Автомат для сортировки изделий / Е. Г. Крылов, А. Ю. Горелова; ВолгГТУ. – 2013.

4. Патент 2370345 РФ, МПК В23В25/06, G01N3/58. Способ определения допустимой скорости резания в условиях многоинструментальной настройки / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. В. Дудкин ; ВолгГТУ. – 2009.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-65-68

*М. П. Кухтик, Е. С. Белокопытов, В. В. Гусев*

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛОПРОКАТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Обоснован выбор типа штрих-кодов при маркировке заготовки на производстве металлопроката. Предложен принцип работы автоматизированной системы мониторинга местоположения заготовки на участке посадки и нагрева слэба и на участке прокатки и отделки заготовки.

*Ключевые слова:* система мониторинга, металлопрокат, нагревательная печь, листопрокатный стан.

*M. P. Kukhtik, E. S. Belokopytov, V. V. Gusev*

### AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING WORKPIECE LOCATION DURING METAL PRODUCTION

Volgograd State Technical University

The choice of the type of barcodes when marking workpieces in rolled metal production is justified. The principle of operation of an automated system for monitoring the location of the workpiece in the area of landing and heating the slab and in the area of rolling and finishing the workpiece is proposed.

*Keywords:* monitoring system, rolled metal, heating furnace, sheet rolling mill.

Целью работы является повышение эффективности производства металлопроката путем разработки автоматизированной системы мониторинга местоположения заготовки на рольгангах листопрокатного стана 2000 АО «Корпорация «Красный октябрь». Сейчас на этом производстве практически отсутствует комплексная система информационного сопровождения металла. Учитывая жесткие требования к обеспечению режимов работы в прокатных станах, имеющих высокие скорости прокатки, жесткие технические требования и требования к качеству готовой продукции, требуется обеспечить контроль промышленных изделий в процессе транспортировки по территории предприятия [1].

Проведен анализ наиболее популярных типов штрих-кодов: EAN / UPC, Interleaved 2 of 5 (ITF), Codabar, Code 39, 2d-код PDF417. Изучено наличие следующих характеристик у каждого типа штрих-кодов: высокая информационная плотность, оптимальное расположение данных, легкость дешифровки, большой объем шифруемой информации, низкая стоимость технологии нанесения, проверка целостности данных, изменяемая длина, компактность. Значимость каждой характеристики была оценена по пятибалльной шкале исходя из особенностей рассматриваемого производства. Сумма баллов для каждого типа штрих-кодов отражает его применимость для данного производства. В результате максимальное количество баллов набрал штрих-

код EAN / UPC. Этот код считается универсальным и распознается всеми видами сканеров.

Для предлагаемой автоматизированной системы мониторинга выбран промышленный сканер штрих-кодов Cognex DataMan 150/260, микроволновый датчик положения горячего металла MWS-ST/SR-2 WG-R и оптический датчик положения заготовки на транспортных рольгангах стана РХО200 К80 [2]. На рис. 1 приведена схема расположения оборудования на участке посадки и нагрева сляба.

В зоне приемки и идентификации заготовок производится ручная идентификация слябов, нанесение и корректировка маркировки. После получения сигнала о поступлении слябов в зону хранения оператор склада с помощью мостового крана помещает их на транспортные рольганги. Во время переноса сляба его штрих-код считывается с помощью промышленного сканера и отправляется на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора склада (рис. 2).

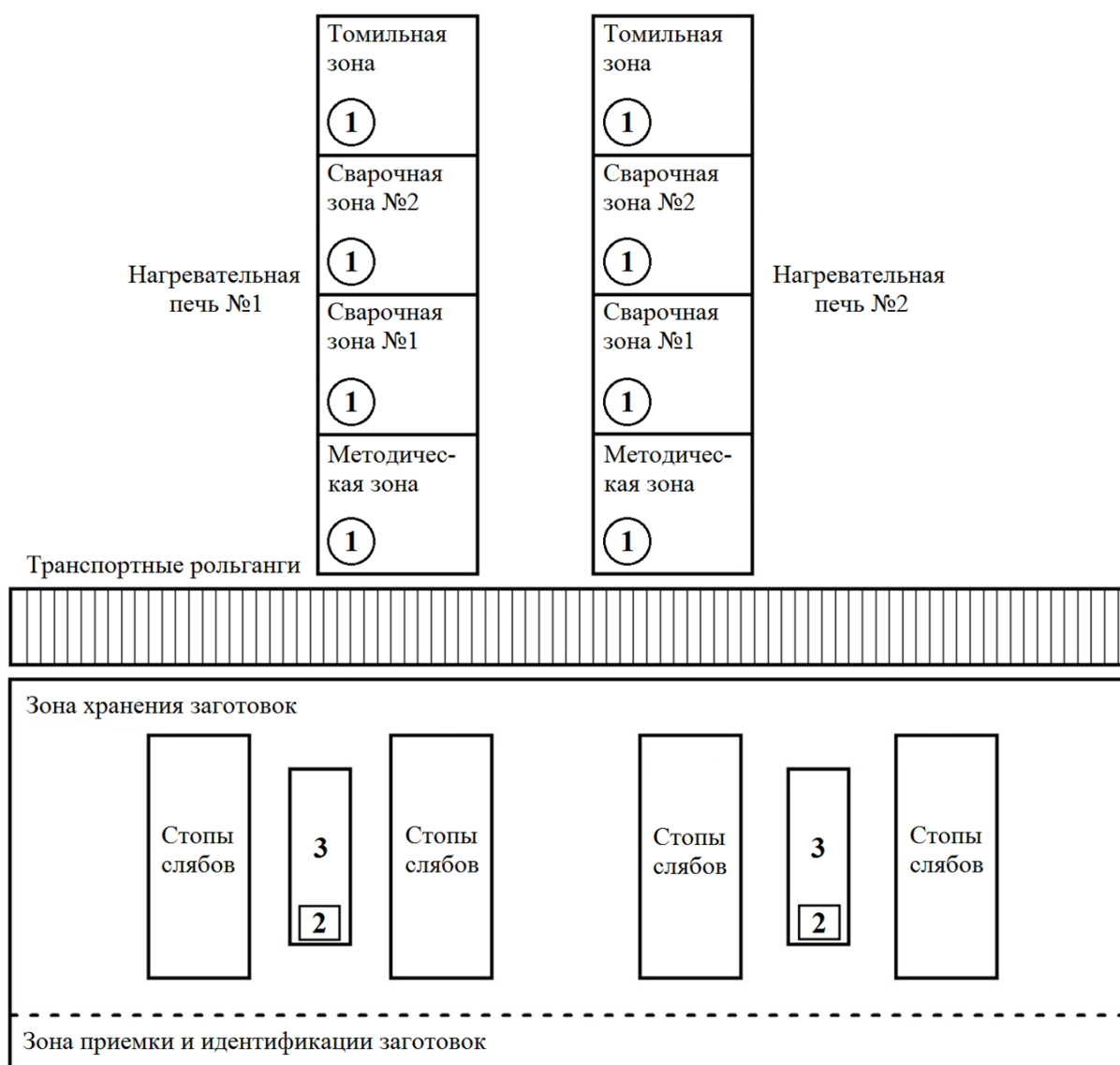


Рис. 1. Участок посадки и нагрева сляба:  
1 – микроволновые датчики положения горячего металла;  
2 – промышленные сканеры штрих-кодов; 3 – мостовые краны





Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы мониторинга местоположения заготовки при производстве металлопроката

Далее слябы попадают на загрузочные рольганги (на рисунке не показаны) и поступают в нагревательную печь. В каждой зоне печи установлен датчик положения горячего металла, который при приближении сляба подает сигнал через модульную станцию распределен-

ного ввода-вывода на программируемый логический контроллер, который, в свою очередь, передает сигнал на АРМ инженера АСУТП.

На рис. 3 приведена схема расположения оборудования на участке прокатки и отделки заготовки.

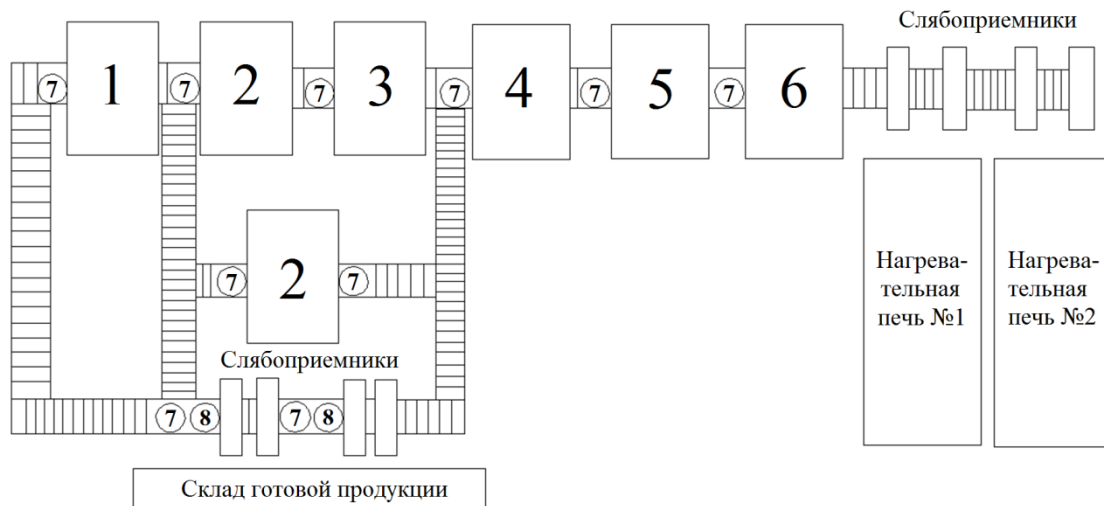


Рис. 3. Участок прокатки и отделки заготовки:

1 – ножницы продольные; 2 – ножницы поперечные; 3 – правильная машина; 4 – клеть «кватро»; 5 – вертикальная клеть; 6 – горизонтальный окалиноломатель; 7 – оптические датчики положения заготовки; 8 – промышленные сканеры штрих-кодов

После печи слябы попадают на приемные рольганги (на рис. не показаны), а с них – на транспортные рольганги между печью и прокатным станом. Вдоль транспортных рольгангов расставлены оптические датчики положения, срабатывающие при прохождении через них заготовок и подающие сигналы через модульную станцию распределенного ввода-вывода на контроллер, который отслеживает местоположение заготовок и отправляет сигнал на АРМ инженера АСУТП. После операций прокатки и отделки порезанные листы поступают в зону склада готовой продукции. Промышленные сканеры считывают информацию с нового штрих-кода, нанесенного после порезки на верхний лист из пачки.

Предложенная автоматизированная система мониторинга местоположения заготовки делает возможной интеграцию АСУТП нагрева металла в методической печи, АСУТП склада слябов и программы рационального комплектования садки слябов печи [3]. Внедрение разработанной системы мониторинга позволит согласовать работу склада слябов, печного участка и прокатного стана с целью предотвращения простоев оборудования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Восканьянц, А. А. Автоматизированное управление процессами прокатки : учеб. пособие / А. А. Восканьянц ; Московский гос. тех. ун-т им. Н. Э. Баумана. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 85 с.

2. Белокопытов, Е. С. Автоматизированная система мониторинга местоположения заготовки при производстве металлопроката / Е. С. Белокопытов, В. В. Гусев // XXVIII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 23 октября – 6 ноября 2023 г.) : сб. матер. конф. / редкол. : С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2023. – С. 57–58.

3. Кухтик, М. П. Автоматизированная система управления нагревом слябов в методической печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев, С. В. Баев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 65–68.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-68-71

*М. П. Кухтик, А. С. Улитин*

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КАМЕРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Разработан алгоритм работы камерной электрической печи высокого отпуска. В соответствии с алгоритмом на языках списка инструкций и релейно-контактной логики написана программа управления работой печи для программируемого логического контроллера.

*Ключевые слова:* камерная электрическая печь, алгоритм, программа управления.

*M. P. Kukhtik, A. S. Ulitin*

## DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM AND CONTROL PROGRAM FOR A CHAMBER ELECTRIC FURNACE OPERATION

Volgograd State Technical University

An operating algorithm for a high-temperature electric chamber furnace has been developed. In accordance with the algorithm, a furnace operation control program for a programmable logic controller has been written in the languages of instruction list and relay logic.

*Keywords:* chamber electric furnace, algorithm, control program.

Технологические процессы химико-термической обработки характеризуются высокой энергоемкостью и чувствительностью к отклонениям от оптимальных параметров процесса. Поэтому для их реализации специализированное термическое оборудование должно быть оснащено автоматизированной системой управления технологическим процессом [1]. Управление работой камерной печи заключается в поддержании постоянной температуры в нагревательной камере с целью достижения максимальной стабильности качества термической обработки [2, 3].

Целью работы является повышение эффективности работы камерной электрической печи путем разработки алгоритма и программы управления ее функционированием для программируемого логического контроллера. Камерная электрическая печь высокого отпуска типа BREW-243648ES входит в состав технологической линии для химико-термической обработки изделий из стали и стальных сплавов.

Разработан алгоритм работы камерной электрической печи, который позволяет реализовать автоматический и ручной режимы функционирования (рис. 1).

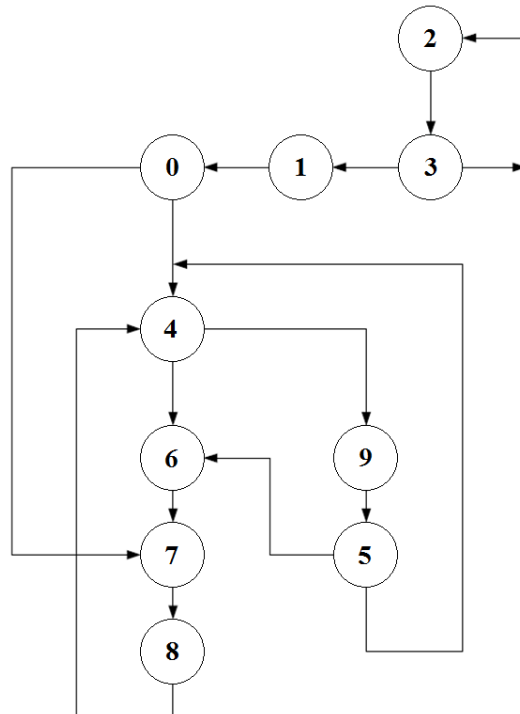


Рис. 1. Алгоритм работы камерной электрической печи:  
0 – инициализация; 1 – сервисный режим; 2 – аварийная ситуация;  
3 – состояние приостановки цикла; 4 – готовность к запуску – дверь закрыта; 5 – конец цикла; 6 – открытие двери; 7 – дверь открыта;  
8 – закрытие двери; 9 – цикл нагрева

Программа управления, соответствующая приведенному алгоритму работы печи, написана в программном пакете STEP 7 на языках списка инструкций STL и релейно-контактной

логики LAD. В проекте STEP 7 сконфигурирована аппаратная часть, составлена таблица символов (рис. 2), создан организационный блок, четыре функции и два функциональных блока.

	Status	Symbol /	Address	Data type	Comment
6		@AUTO	M 30.2	BOOL	Режим АВТО
7		@EM_STOP	M 30.1	BOOL	Блокировка
8		@RESTART	M 30.0	BOOL	Перезапуск
9		ACK_TMR	T 12	TIMER	Сброс тревоги
10		ALM#005/1	M 100.1	BOOL	Превышение температуры в шкафу управления
11		ALM#006/1	M 100.2	BOOL	Защита первичной обмотки трансформатора во внешней цепи
12		ALM#006/2	M 100.3	BOOL	Защита вторичной обмотки трансформатора во внешней цепи
13		ALM#006/3	M 100.4	BOOL	Защита освещения
14		ALM#006/4	M 100.5	BOOL	Защита вентилятора
15		ALM#006/5	M 100.6	BOOL	Защита первичной стороны источника питания
16		ALM#006/6	M 100.7	BOOL	Защита вторичной стороны источника питания
17		ALM#010/1	M 101.0	BOOL	Защита цепи 24VDC
18		ALM#010/2	M 101.1	BOOL	Защита цепи 230VAC
19		ALM#010/3	M 101.2	BOOL	Блокировка
20		ALM#013/3	M 102.2	BOOL	Дверь - сбой защиты открывания
21		ALM#013/4	M 102.3	BOOL	Дверь - сбой защиты закрывания
22		ALM#013/5	M 102.4	BOOL	Дверь - сбой концевых выключателей открывания
23		ALM#013/6	M 102.5	BOOL	Дверь - сбой концевых выключателей закрывания
24		ALM#013/7	M 102.6	BOOL	Дверь - сбой концевых выключателей
25		ALM#014/1	M 103.4	BOOL	Давление воздуха - МИН
26		ALM#016/1	M 102.7	BOOL	Мешалка - сбой контактора
27		ALM#016/3	M 103.0	BOOL	Мешалка - сбой защиты
28		ALM#017/1	M 103.1	BOOL	Нагревание - сбой контактора
29		ALM#017/13	M 103.3	BOOL	Нагревание/Тиристорный регулятор - сбой защиты
30		ALM#017/3	M 103.2	BOOL	Нагревание - сбой защиты
31		ALM#020/2	M 103.5	BOOL	Температура МАХ - защита
32		ALM#100/1	M 100.0	BOOL	Перезагрузка ПЛК
33		ALM#100/2	M 101.3	BOOL	Автоматический цикл - остановка позиции двери
34		ALM#RES_101.4	M 101.4	BOOL	Резерв
35		ALM#RES_101.5	M 101.5	BOOL	Резерв
36		ALM#RES_101.6	M 101.6	BOOL	Резерв
37		ALM#RES_101.7	M 101.7	BOOL	Резерв
38		ALM#RES_102.0	M 102.0	BOOL	Резерв
39		ALM#RES_102.1	M 102.1	BOOL	Резерв
40		ALM#RES_103.6	M 103.6	BOOL	Резерв

Рис. 2. Фрагмент таблицы символов

В главном организационном блоке проекта происходит проверка температуры и освещения в шкафу управления, блокировка системы при возникновении тревоги с помощью реле безопасности, вызывается автоматический режим работы печи, осуществляется управление звуковым и оптическим сигналами тревоги, происходит перезапуск контроллера.

В проект входят функции «Создание звуко-

вого сигнала при тревоге», «Проверка активности тревоги», «Оповещение двигателя о готовности к работе», «Эксплуатация привода загрузки». На рис. 3 и 4 приведены шины управления из функции «Эксплуатация привода загрузки», которые отвечают за автоматическое и ручное управление приводом загрузки с программируемого логического контроллера соответственно.

```

AN  #auto                #auto                -- Управление AUTO
JC  MANU

A   #auto_ctrl_fwd       #auto_ctrl_fwd       -- Автоматическое управление - движение вперёд
A   #auto_ctrl_bck       #auto_ctrl_bck       -- Автоматическое управление - движение назад
R   #relay_fwd           #relay_fwd           -- Контакттор - движение вперёд
R   #relay_bck           #relay_bck           -- Контакттор - движение назад
R   #auto_ctrl_fwd       #auto_ctrl_fwd       -- Автоматическое управление - движение вперёд
R   #auto_ctrl_bck       #auto_ctrl_bck       -- Автоматическое управление - движение назад
JC  NEXT

A   #auto_ctrl_fwd       #auto_ctrl_fwd       -- Автоматическое управление - движение вперёд
=   #relay_fwd           #relay_fwd           -- Контакттор - движение вперёд
R   #relay_bck           #relay_bck           -- Контакттор - движение назад

A   #auto_ctrl_bck       #auto_ctrl_bck       -- Автоматическое управление - движение назад
=   #relay_bck           #relay_bck           -- Контакттор - движение назад
R   #relay_fwd           #relay_fwd           -- Контакттор - движение вперёд

JU  NEXT

```

Рис. 3. Шина «Автоматическое управление с ПЛК»

```

MANU: A   #manual_ctrl_fwd       #manual_ctrl_fwd       -- Ручное управление - движение вперёд
      A   #manual_ctrl_bck       #manual_ctrl_bck       -- Ручное управление - движение назад
      R   #relay_fwd           #relay_fwd           -- Контакттор - движение вперёд
      R   #relay_bck           #relay_bck           -- Контакттор - движение назад
      R   #manual_ctrl_fwd       #manual_ctrl_fwd       -- Ручное управление - движение вперёд
      R   #manual_ctrl_bck       #manual_ctrl_bck       -- Ручное управление - движение назад
      JC  NEXT

//вперёд
A   #manual_ctrl_fwd       #manual_ctrl_fwd       -- Ручное управление - движение вперёд
=   #relay_fwd           #relay_fwd           -- Контакттор - движение вперёд
R   #relay_bck           #relay_bck           -- Контакттор - движение назад

//назад
A   #manual_ctrl_bck       #manual_ctrl_bck       -- Ручное управление - движение назад
=   #relay_bck           #relay_bck           -- Контакттор - движение назад
R   #relay_fwd           #relay_fwd           -- Контакттор - движение вперёд

```

Рис. 4. Шина «Ручное управление с ПЛК»

Функция «Эксплуатация привода загрузки» описывает эксплуатацию привода загрузки изделий в печь. Сначала осуществляется проверка готовности питания при движении привода вперед (рис. 5). Если привод отключен, то включается аварийный сигнал и автоматически

активируется сигнализация. Затем проверяется готовность питания при движении привода назад (шина управления аналогична, на рисунке не приведена). При достижении приводом конечных выключателей срабатывает аварийный сигнал (рис. 6).

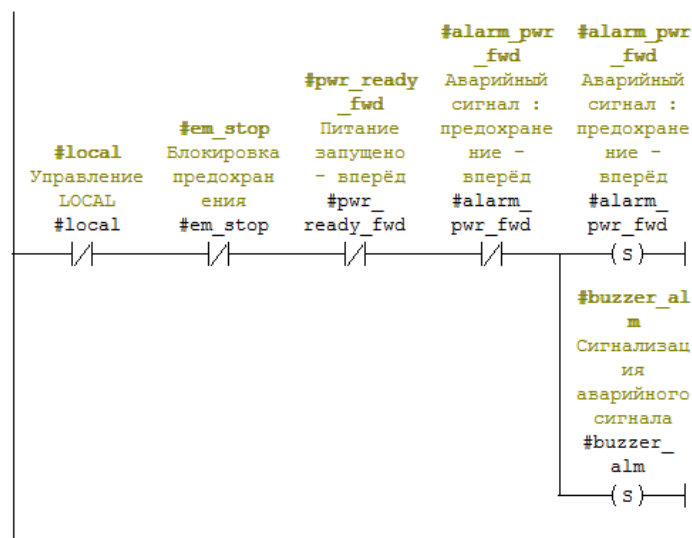


Рис. 5. Шина «Движение привода загрузки вперед»

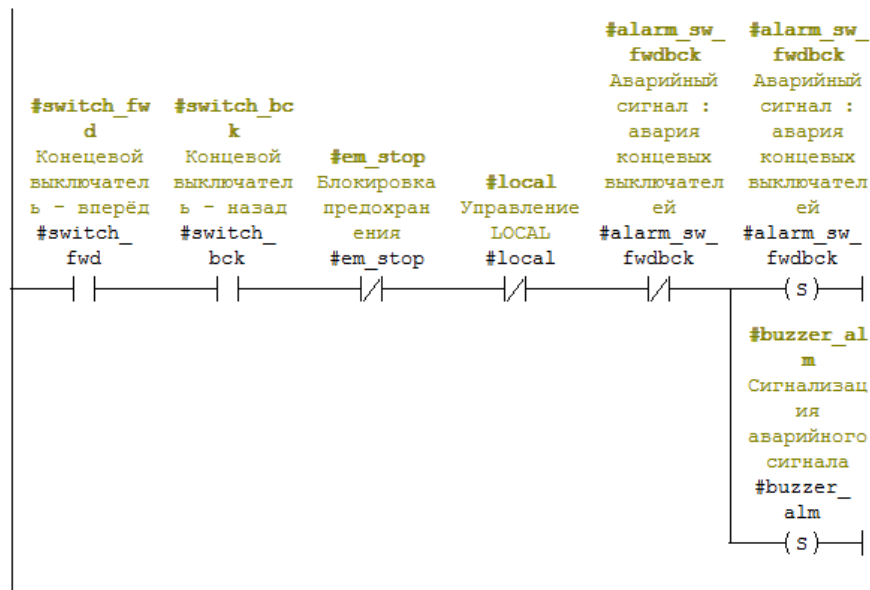


Рис. 6. Шина «Авария движения привода загрузки»

Первый функциональный блок отвечает за перезапуск системы, переход печи в автоматический режим, управление перемещением двери, остановку мешалки атмосферы в автоматическом режиме (рис. 7) и блокировку нагрева

печи в ручном режиме. Во втором функциональном блоке подробно прописан цикл работы печи в автоматическом режиме.



Рис. 7. Шина «Остановка мешалки в автоматическом режиме»

Использование разработанной программы в составе автоматизированной системы управления процессом термообработки стальных деталей позволит повысить качество ведения технологического процесса и уровень автоматизации производства.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виленчиц, Б. Б. Автоматические системы управления технологическими процессами газовой цементации / Б. Б. Виленчиц, В. К. Попов // Современные технологии автоматизации. – 2012. – № 1. – С. 56–64.
2. Улитин, А. С. Автоматизированная система управления работой камерной электрической печи / А. С. Улитин // XXVIII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 23 октября – 6 ноября 2023 г.): сб. матер. конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2023. – С. 58–59.
3. Кухтик, М. П. Автоматизированная система управления нагревом слябов в методической печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев, С. В. Баяв // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 65–68.

УДК 67.05

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-72-75

*А. С. Панюлайтис, Г. Н. Овчинников, А. М. Макаров, И. В. Волков***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАПЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ  
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
РАСХОДА ЖИДКОСТНЫХ КОМПОНЕНТОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

С целью математического описания принципа действия устройства для автоматического высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов были рассмотрены несколько процессов, происходящих с каплей жидкости, а также свойства исследуемых жидкостей. Произведен аналитический расчет основных параметров процесса каплеобразования для различных типов жидкостей, рассмотрен профиль осесимметричной свисающей капли, выведена система уравнений, которая пойдет в основу разрабатываемой математической модели работы системы управления.

*Ключевые слова:* расходомер, высокоточное регулирование жидкости, контроль малых расходов жидкости, нефтехимическая промышленность, оптическая скамья, каплеобразование, математическая модель.

*A. S. Panyulaitis, G. N. Ovchinnikov, A. M. Makarov, I. V. Volkov***INVESTIGATION OF THE DROPLET FORMATION PROCESS  
DURING OPERATION OF A DEVICE FOR HIGH-PRECISION  
FLOW CONTROL OF LIQUID COMPONENTS****Volgograd State Technical University**

To mathematically describe the principle of operation of a device for high-precision flow control of liquid components, several processes occurring with a drop of liquid were considered, as well as the properties of the studied liquids themselves. An analytical calculation of the main parameters of the droplet formation process for various types of liquids was performed, the profile of an axisymmetric hanging drop was considered, a system of equations was derived, which will form the basis of the mathematical model of the device being developed.

*Keywords:* flow meter, high-precision liquid regulation, control of low liquid flow, petrochemical industry, optical bench, droplet formation, mathematical model.

В настоящее время существуют примеры устройств, позволяющих осуществлять точное регулирование расхода различных веществ, а также определять вязкость отобранных проб механическим методом в химической, нефтехимической, лакокрасочной промышленности, клинико-диагностических лабораториях, в области 3D-печати и др.

Бесконтактный метод измерения – один из наиболее рациональных способов измерения при работе с ядовитыми и химически активными веществами.

На сегодняшний день вопрос разработки систем высокоточного регулирования жидкостных компонентов, позволяющих производить контроль малых расходов жидкости и измерение необходимых параметров вещества, является наиболее актуальным. Новые системы необходимы для измерения и контроля нескольких физико-механических параметров одновременно.

Для решения задачи измерения и контроля малых расходов жидкости бесконтактным методом на основе существующих устройств [1, 2] была разработана конструкция модернизированной системы высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов. Подробное описание основных элементов системы и принцип ее работы рассматривается в статье [3].

Для математического описания принципа действия данного устройства с достаточной степенью точности необходимо рассмотреть несколько процессов, происходящих с каплей жидкости, а также основные свойства исследуемых жидкостей. Одним из наиболее важных параметров для математического описания рассматриваемых жидкостей является плотность. Для проведения исследования использовались несколько разновидностей жидкостей, значение плотности которых представлены в табл. 1.



Таблица 1  
Плотность исследуемых жидкостей

Наименование жидкости	Плотность, г/см <sup>3</sup> (г/мл)
Водный раствор NaCl 0,9%	1,005
Вода	0,998
Глицерин	1,261
Этанол	0,789
Керосин	0,820

На рис. 1 представлена схема каплеобразования.

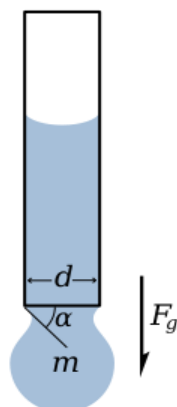


Рис. 1. Схема процесса каплеобразования

На представленной схеме, капля задерживается на конце трубки за счет силы поверхностного натяжения. Эта сила пропорциональна длине границы между жидкостью и трубкой и соответственно равна:

$$F = 2\pi R\gamma, \quad (1)$$

где  $R$  – внутренний радиус трубки, мм,  $\gamma$  – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Капля не отрывается, пока эта сила способна нейтрализовать силу тяжести, действующую на каплю в вертикальной проекции, то есть:

$$mg = 2\pi R\gamma \sin \alpha. \quad (2)$$

При увеличении массы капли, то есть при ее росте, угол  $\alpha$  будет стремиться к  $90^\circ$ , и в со-

стоянии равновесия сил, формула примет вид:

$$mg = 2\pi R\gamma. \quad (3)$$

Из формулы (3) получаем массу капли жидкости:

$$m = \frac{2\pi R\gamma}{g}. \quad (4)$$

Другими важными параметрами являются массовый расход и время пролета капли через измерительную плоскость. Массовый расход необходим для определения соответствия между объемным расходом и светопропускаемостью исследуемой жидкости. Так же он позволяет определить среднюю скорость потока жидкости. Массовый расход  $Q_m$  рассчитывается по формуле:

$$Q_m = \rho v S, \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – средняя скорость потока, м/с;  $S$  – площадь сечения потока, м<sup>2</sup>.

Массовый расход и объемный расход  $Q$  связаны выражением:

$$Q_m = \rho Q. \quad (6)$$

Также объемный расход можно определить по формуле:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (7)$$

где  $V$  – объем жидкости, прошедший через некое сечение потока, за определенное время,  $t$  – время за которое жидкость объема  $V$  прошла через поперечное сечение потока.

Время пролета капли через измерительную плоскость:

$$t = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} - \sqrt{\frac{2h_1}{g}}, \quad (8)$$

где  $h_2$  – конечное расстояние, измеряемое от каплеобразователя,  $h_1$  – начальное расстояние, измеряемое от каплеобразователя.

В табл. 2 представлены результаты расчета основных параметров жидкости на примере водного раствора NaCl 0,9%.

Таблица 2

Результаты расчета

Масса одной капли $m$ , г	Поверхностное натяжение $\sigma$ , Н/м	Радиус выходного отверстия каплеобразователя $R$ , мм	Массовый расход жидкости $Q_m$ , г/сек	Площадь сечения потока $S$ , мм <sup>2</sup>	Средняя скорость потока жидкости $V$ , м/с	Объемный расход жидкости $Q$ , мл/с	Время пролета капли через измерительную плоскость $t$ , с	Объем капли жидкости $V$ , мл
0,07	0,07286	1,5	0,054	7,065	0,0076	0,0537	0,0086	0,05

Также был рассчитан объемный расход для других видов жидкостей (табл. 3).



Таблица 3

Результаты расчета объемного расхода

Наименование жидкости	Объемный расход жидкости $Q$ мл/с	Плотность в кг/м <sup>3</sup>
Этанол	0,0684	789
Керосин	0,0659	820
Вода	0,0541	998
Водный раствор NaCl 0,9%	0,0537	1005
Глицерин	0,0428	1261

На основе полученных результатов была получена зависимость объемного расхода от плотности жидкости (рис. 2).

Для разрабатываемой математической модели процесса работы устройства необходимо

рассмотреть осесимметричную каплю, свисающую с горизонтальной плоскости  $\Pi$  или кончика цилиндрического капилляра [4]. На рис. 3 представлен профиль висящей капли и, связанная с ней, система координат.

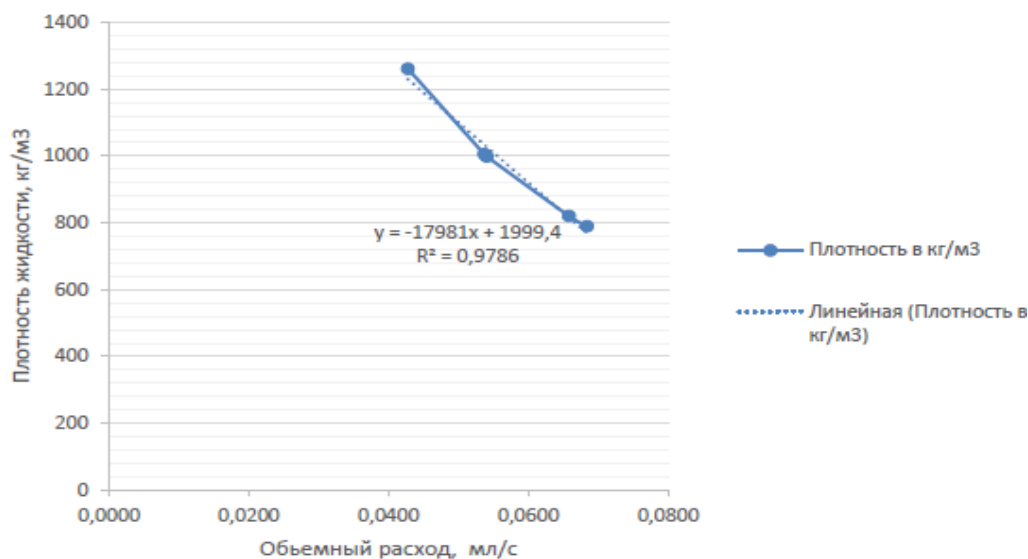
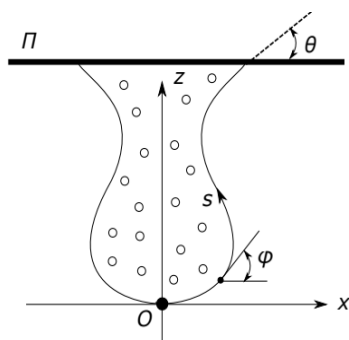
Рис. 2. Зависимость объемного расхода  $Q$  от плотности жидкости  $\rho$ 

Рис. 3. Профиль осесимметричной висящей капли

На данной схеме приняты следующие величины:  $s$  — длина дуги профиля капли, отсчитываемая от начала координат,  $\varphi$  — угол между положительным направлением касательной к профилю и положительным направлением оси  $x$ ,  $\theta$  — контактный угол смачивания.

С учетом принятых обозначений, уравнение Лапласа для висящей капли запишется в виде:

$$\frac{d^2 z/dx^2}{[1 + (dz/dx)^2]^{3/2}} + \frac{dz/dx}{x [1 + (dz/dx)^2]^{1/2}} = \lambda - \beta z \quad (9)$$

Если от переменных  $x$  и  $z$  перейти к параметризации по величине  $\varphi$ , то в результате получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dz}{d\varphi} = \frac{x \sin \varphi}{\lambda x - \beta z x - \sin \varphi}, \\ \frac{dx}{d\varphi} = \frac{x \cos \varphi}{\lambda x - \beta z x - \sin \varphi}, \\ \frac{dv}{d\varphi} = \frac{\pi x^3 \sin \varphi}{\lambda x - \beta z x - \sin \varphi}, \\ \frac{da}{d\varphi} = \frac{2\pi x^2 \sin \varphi}{\lambda x - \beta z x - \sin \varphi}. \end{cases} \quad (10)$$

Математическое описание основных процессов, происходящих с каплей во время ее отрыва от каплеобразователя при высокоточном измерении расхода жидкости, а также расчеты основных параметров процесса каплеобразования в аналитическом виде позволят использовать данные результаты при автоматическом регулировании процесса работы высокоточного расходомера. Рассмотренная модель двумерной висящей капли и полученная система уравнений являются основой математической модели, описывающей работу устройства для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов. Данное устройство может использоваться в химической, нефтехимической, лакокрасочной промышленности, клинко-диагностических и других научно-исследовательских лабораториях, в области 3D-печати и других сферах деятельности.

УДК 001.51:621-023

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-75-78

*С. Г. Поступаева, А. А. Яковлев, И. В. Кобцева*

#### **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЕМ ЖИДКОСТИ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: posvetlana@mail.ru

В статье рассматривается применение инженерно-физического метода автоматического управления уровнем жидкости на этапе построения модели физического принципа действия. Полученная модель устройства позволяет отображать передвижение рабочего тела в пространстве и его физическое взаимодействие во времени.

*Ключевые слова:* поисковое конструирование, инженерно-физический метод, модель физического принципа действия, регулятор уровня поплавкового типа.

*S. G. Postupaeva, A. A. Yakovlev, I. V. Kobtseva*

#### **DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF OPERATION OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM LIQUID LEVEL**

**Volgograd State Technical University**

The article considers the application of the engineering-physical method of automatic control of the liquid level, at the stage of building a model of the physical principle of action. The resulting device model allows you to display the movement of the working fluid in space and its physical interaction over time.

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

На сегодняшний день разработка новых технических систем является сложной задачей для инженеров-конструкторов. Однако, существуют различные методы поискового конструирования, которые значительно улучшают

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пат. 2490602 Российская Федерация, МПК G01F13/00. Автоматический дозатор жидкостей В. В. Непримерова / В. В. Непримеров ; заявитель и патентообладатель В. В. Непримеров. – № 2011137929/28 ; заявл. 14.09.11 ; опубл. 20.08.13, Бюл. № 23.

2. П. м. 136564 Российская Федерация, МПК G01F3/00. Датчик малых расходов жидкости / В. П. Заярный, И. В. Волков, А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2013135341 ; заявл. 26.07.13; опубл. 10.01.14, Бюл № 1 (IV ч.).

3. Разработка и исследование автоматического устройства для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов / А. С. Панюлайтис, Г. Н. Овчинников, И. В. Волков, Е. В. Стегачев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (262) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 65–69.

4. Точные решения задачи о форме двумерной висящей капли и их свойства / А. А. Сокуров // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. – 2020. – № 4. – С. 99–111.

производительность труда на начальных этапах проектирования. Один из эффективных методов автоматизированного синтеза новых технических решений – инженерно-физический подход, описанный в работе [1]. Этот метод успеш-

но применяется при создании различных конструкций для подачи смазочно-охлаждающих средств в зону резания станков [2, 3] и технологических лазеров на углекислом газе [4].

Основой инженерно-физического метода является определение физического принципа действия (ФПД) будущего устройства. Полученная модель ФПД является основой для разработки структуры устройства и подбора функциональных элементов с последующей его конструктивной реализацией.

Рассмотрим применение инженерно-физического метода на этапе построения модели ФПД для регуляторов уровня поплавкового типа (рис. 1).

Составим функциональную схему системы регулирования уровнем жидкости с регулятором прямого действия (рис. 2).

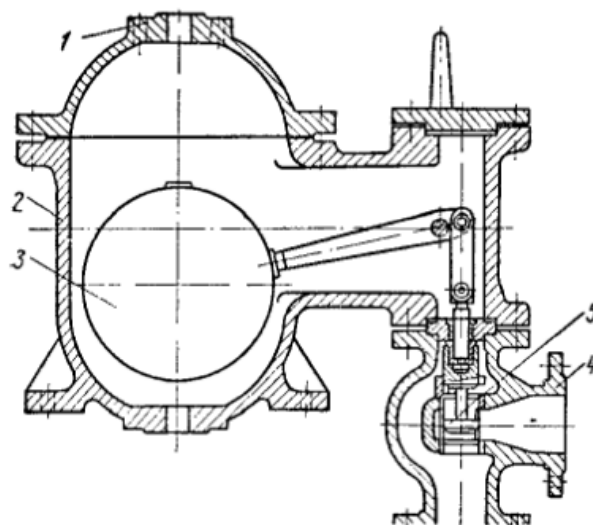


Рис. 1. Регулятор уровня поплавкового типа:  
1 – крышка поплавковой камеры; 2 – корпус поплавковой камеры; 3 – поплавок; 4 – корпус регулирующего клапана; 5 – регулирующий клапан золотникового типа

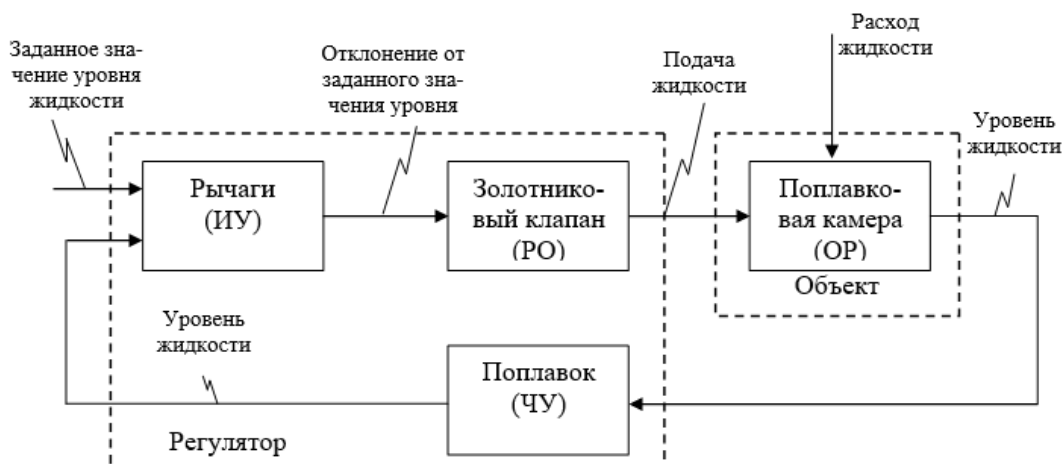


Рис. 2. Функциональная схема системы управления уровнем жидкости:  
ИУ – исполнительное устройство; РО – регулирующий орган;  
ОР – объект регулирования; ЧУ – чувствительный элемент

На рис. 3 представлена модель физического принципа действия объекта регулирования (ОР) – поплавковой камеры.

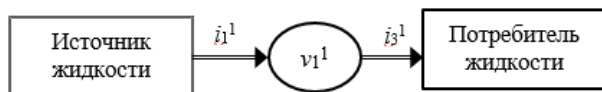


Рис. 3. Модель ФПД поплавковой камеры

Составим структурную схему поплавкового регулятора (рис. 4).

Для полученной структурной схемы поплавкового регулятора можно построить модель физического принципа действия в виде ориентированного графа, где вершины представляют собой места, в которых рабочее тело испытывает взаимодействия, сопровождающиеся изменением энергии (характерные точки), а в характерных точках к рабочему телу подводятся или отводятся потоки экстенсоров [4].

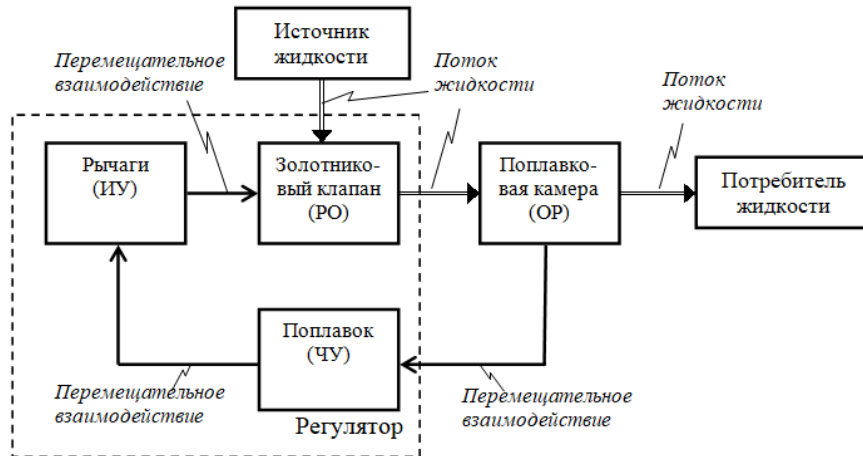


Рис. 4. Структурная схема поплавкового регулятора

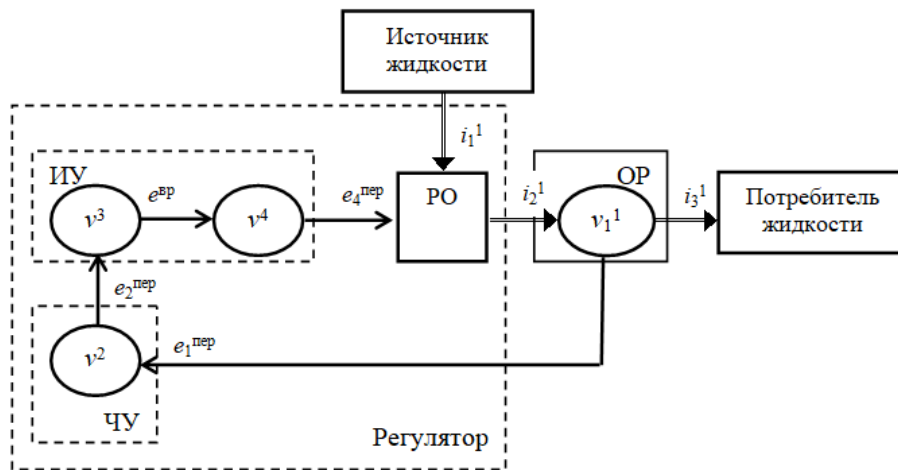


Рис. 5. Модель ФПД поплавкового регулятора

Описание всех элементов модели ФПД поплавкового регулятора представлено в таблице.

Описание элементов модели ФПД поплавкового регулятора

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
Источник жидкости		Исток рабочего тела
Потребитель жидкости		Сток рабочего тела
$v_1^1$	Характерная точка	Жидкость в поплавковой камере
$v_2^1$	То же	Жидкость в регулирующем клапане
$v^2$	—//—	Поплавок (чувствительное устройство)
$v^3$	—//—	Рычаг
$v^4$	—//—	Рычаг
РО	Элемент управления	Золотниковый клапан
$i_1^1$	Маршрутная дуга	Поток жидкости от истока рабочего тела к регулирующему клапану
$i_2^1$	То же	Поток жидкости через регулирующий клапан в поплавковую камеру
$i_3^1$	—//—	Поток жидкости из поплавковой камеры к потребителю
$e_1^{\text{пер}}$	Взаимодействие	Поступательное перемещение поплавка в камере
$e_2^{\text{пер}}$	То же	Перемещение рычага
$e_3^{\text{пер}}$	—//—	Перемещение рычага
$e_4^{\text{пер}}$	—//—	Изменение положения (перемещение) золотника (РО)

Разработанная модель ФПД является основой для выявления элементарных конструктивных функций системы с целью получения определенного набора функциональных элементов, с помощью которых будет сформирована матрица технических решений для дальнейшего проектирования альтернативных вариантов исполнения поплавкового регулятора.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователь энергии : монография / А. А. Яковлев; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.
2. 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.

3. Моделирование физического принципа действия технологических CO<sub>2</sub>-лазеров с медленной прокачкой рабочей смеси / Н. В. Федорова, С. Г. Поступаева, В. П. Плотников, А. А. Яковлев // Академическая наука – проблемы и достижения (Academic science – problems and achievements) : матер. XXX междунар. науч.-практ. конф. (Bengaluru, India, 24–25 октября 2022 г.) / Научно-издательский центр «Академический» (spcAcademic). – Bengaluru (India): Pothi.com, 2022. – С. 173–177.

4. Яковлев, А. А. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Построение модели физического принципа действия устройства / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 83–87.

УДК 62-529

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-78-80

*Д. А. Сулейманов, Ж. С. Тихонова, Д. В. Крайнев, А. А. Наумов*

#### РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ ХРАНЕНИЯ И ВЫДАЧИ ИНСТРУМЕНТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В статье описана конструкция и принцип работы роботизированной ячейки хранения и автоматической выдачи инструмента.

*Ключевые слова:* роботизированная ячейка, инструмент, складское инструментальное хозяйство.

*D. A. Suleymanov, Zh. S. Tikhonova, D. V. Kraynev, A. A. Naumov*

#### DEVELOPMENT OF A ROBOTIC CELL FOR STORING AND DISPENSING TOOLS

Volgograd State Technical University

The article describes the design and principle of operation of a robotic storage cell and automatic tool dispensing.

*Keywords:* robotic storage cell, tool, tool storage and dispensing system.

У каждого машиностроительного предприятия есть проблемы в работе складского инструментального хозяйства. Их может быть множество (учет, хранение, инвентаризация, списание и т. д.), и все вместе они приводят к значительным совокупным потерям, вынуждая руководство задуматься о путях их преодоления. Одним из таких путей может стать разработка и внедрение роботизированной системы производственной инструментальной ячейки, которая способствует повышению эффективности выдачи инструмента за счет упрощения и ускорения процесса, а также постоянного контроля над ним.

В настоящее время системы автоматизированного хранения представлены на рынке, как правило, в трех вариантах:

1. Модульная система, состоящая из мастер-шкафа и присоединяемых дополнительных шкафов, содержащих ящики для хранения товарно-материальных ценностей [1–2].

2. Система автоматической выдачи инструмента с барабанным хранилищем позволяет хранить большое количество инструментов при малой занимаемой площади. В каждой ячейке барабана хранится по одной единице инструмента, что обеспечивает доступ сотрудника к строго ограниченному количеству товарно-материальных ценностей [3].

3. Шкаф, напоминающий камеру хранения.

Большинство существующих систем автоматизированной выдачи товарно-материальных ценностей подобны друг другу и обладают схожими недостатками.

Первый недостаток относится к системам хранения с выдвижными ящиками. Как правило, в ящиках хранится несколько единиц товарно-материальных ценностей, и при разблокировке ящика сотрудник получает доступ к большому количеству инструмента, чем необходимо, при этом не все системы имеют возможность отслеживания изъятия каждой единицы товарно-материальных ценностей из ящика. К тому же в этих системах после разблокировки запорного механизма, выдвижение и задвижение ящиков, в большинстве случаев, производится вручную, что в случае невнимательности, халатности персонала или других причин может привести к тому, что после извлечения необходимого инструмента ящик может оказаться не закрытым должным образом, что приведет к несанкционированному доступу персонала к товарно-материальным ценностям.

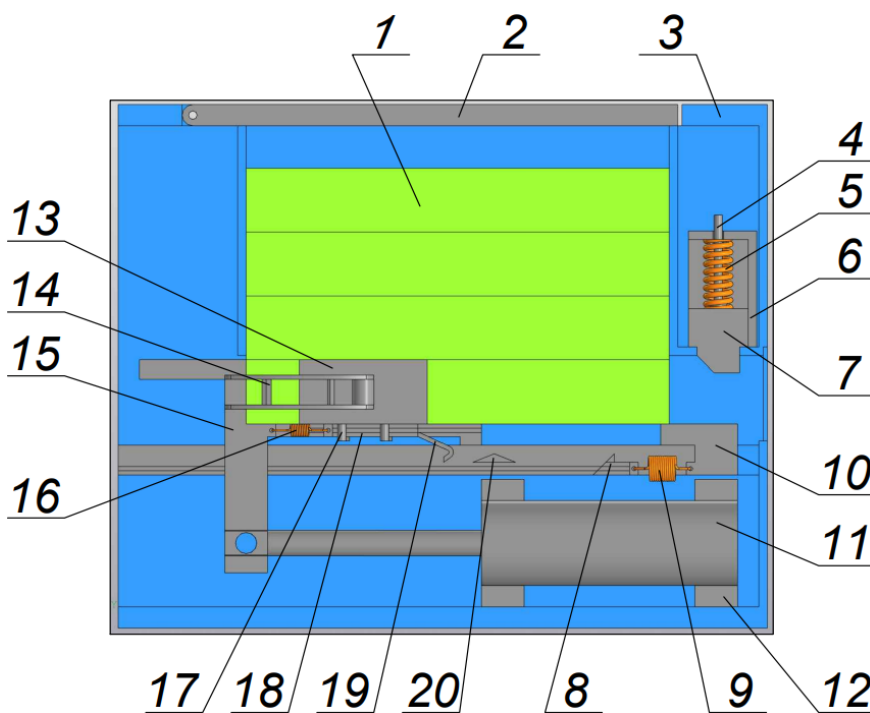
Второй недостаток относится к системам,

в которых инструмент хранится в ячейках. Как правило, в каждой ячейке хранится одна единица инструмента, что позволяет избежать первого недостатка. Но размещение в каждой ячейке по одной единице товарно-материальных ценностей с последующим внесением информации об их расположении и количестве приводит к большим временным затратам.

Таким образом требования, предъявляемые к разрабатываемой ячейке следующие:

- ручная загрузка упаковок с инструментом;
- хранение нескольких упаковок с инструментом;
- поштучная выдача упаковок с инструментом;
- в случае, если упаковку не извлекли после выдачи, она должна быть возвращена для дальнейшего хранения в ячейку.

На рисунке схематично изображена модель предлагаемой роботизированной ячейки.



Модель роботизированной ячейки хранения и выдачи инструмента:

- 1 – упаковка с инструментом; 2 – корпус ячейки; 3 – крышка ячейки; 4 – шток тормоза; 5 – пружина тормоза; 6 – корпус тормоза; 7 – язычок тормоза; 8 – возвратная каретка; 9 – возвратная пружина; 10 – полка корпуса; 11 – исполнительный механизм; 12 – кронштейн исполнительного механизма; 13 – губка захватного механизма; 14 – рычаг губки захватного механизма; 15 – толкатель; 16 – пружина захватного механизма; 17 – рычаг каретки захватного механизма; 18 – каретка захватного механизма; 19 – зацеп захватного механизма (упругая пластина); 20 – упор-расцепитель

Механизм работы предлагаемой ячейки следующий. Упаковки с инструментом 1 загружаются в ячейку при открытии крышки 2. При подаче управляющего воздействия на исполнительный механизм 11 (в качестве исполнительного механизма могут быть использованы соленоид или пневмоцилиндр), шток испол-

нительного механизма втягивается, приводя в действие толкатель 15. Под действием толкателя 15, упаковка с инструментом 1 перемещается таким образом, что ее передний край выдвигается за пределы корпуса на расстояние, достаточное чтобы извлечь ее руками. Зацеп захватного механизма 19 входит в зацепление

с возвратной кареткой 8. Механизм тормоза (5, 6, 7) гасит инерцию упаковки 1, предотвращая ее излишнее выдвижение из ячейки. Шток тормоза 4 поднимается вверх, нажимая на концевой выключатель (на рисунке не обозначен), сигнализирующий о том, что упаковка 1 выдвинута из ячейки, но не извлечена.

После ручного извлечения упаковки 1, язычок 7 и шток 4 тормоза опускаются под действием пружины 5, давая команду для управляющего воздействия на выдвижение штока исполнительного механизма 11. При этом толкатель 15 перемещается в исходное положение, растягивая возвратную пружину 9 и пружину захватного механизма 16, до тех пор, пока не достигнет упора-расцепителя. Под действием упругих сил пружины 9 каретка захватного механизма 18 смещается вперед относительно толкателя, сводя губки захватного механизма 13 посредством рычагов 14 и 17. Сведенные губки захватного механизма 13 и толкатель 15 обеспечивают опору для вышележащих упаковок 1, не позволяя им преждевременно опуститься вниз.

В случае, если поданную упаковку не извлекли из ячейки в течении отведенного времени, то подается управляющее воздействие на выдвижение штока исполнительного механизма 11. Так как упаковка не извлечена, то сведение губок захватного механизма 13 будет минимально, а растяжения пружины захватного механизма 16 незначительно. Растяжение возвратной пружины 9 обеспечивает силу сжатия губок захватного механизма, достаточную, чтобы при возврате

толкателя 15 в исходное положение неизвлеченная упаковка была возвращена в ячейку.

Таким образом модульная дополняемая система выдачи с электронно-блокируемыми роботизированными ячейками позволяет обеспечивать контролируемое хранение и выдачу инструмента в соответствии с областью применения и уровнем безопасности, а также рационально обустроить окружающее рабочее пространство для организации плодотворной работы по получению необходимых товарно-материальных ценностей, сотруднику необходимо авторизоваться (путем ввода логина и пароля, прикладывания магнитной карты и т. п.) и ввести необходимый запрос. Далее программное обеспечение проанализирует полученные данные согласно заложенному алгоритму и предоставит доступ к ящику или ячейке, заноса при этом соответствующую запись в базу данных.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматический склад выдачи инструмента: [Электронный ресурс] // Компания инновационных технологий. URL: <https://www.kiit.ru/product/storemanager/>. (Дата обращения 28.12.2022).
2. Автоматизированный инструментальный шкаф Matrix: [Электронный ресурс] // Member IMC Group Tungaloy. URL: <https://tungaloy-rus.ru/services/industriya-4-0/matrix/>. (Дата обращения 28.12.2022).
3. PickOne: [Электронный ресурс] // ЗАО «Хоффманн Профессиональный Инструмент». URL: <https://hoffmann-group.ru/page/pickone>. (Дата обращения 28.12.2022).
4. Locker: [Электронный ресурс] // ЗАО «Хоффманн Профессиональный Инструмент». URL: <https://hoffmann-group.ru/page/locker>. (Дата обращения 28.12.2022).



Профессор, наш мудрый учитель, добрый друг и верный товарищ.

Без Александра Леонтьевича трудно представить не только высшее техническое образование, но и общественную, научную, административную работу, выполняемую всегда результативно, ответственно и на неизменно высоком уровне.

После службы в ВМФ в 1963 году старшина 2-й статьи Александр Плотников поступил на очное отделение Волгоградского политехнического института. В студенческие годы – прилежный студент, активный общественник, комиссар строительных отрядов. Александр Леонтьевич был связан с техническим университетом более 50 лет. В 1968 году окончил Волгоградский политехнический институт по специальности «Автоматизация производственных процессов в машиностроении». С сентября 1968 года по сентябрь 1969 года работал младшим научным сотрудником СКБ ВПИ. В 1969 г. Александр Леонтьевич был принят на кафедру «Автоматизация производственных процессов» на должность ассистента, затем старшего преподавателя. Вел активную общественную работу на машиностроительном факультете и кафедре. В 1982 году защитил кандидатскую диссертацию.

С 1987 по 2002 год работал в должности доцента, курировал СНТО на факультете. Выполняемые под его руководством студенческие работы были неоднократно отмечены дипломами Всероссийских и региональных конкурсов. В 2002 году защитил докторскую диссертацию. С 2003 года Александр Леонтьевич – профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», заместитель декана машиностроительного факультета по научной работе.

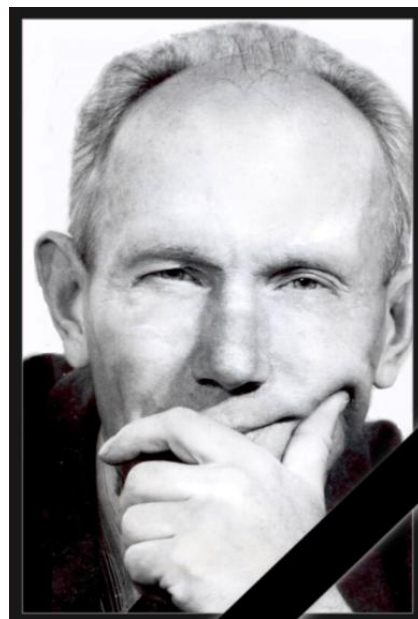
Александр Леонтьевич является автором более 250 научных статей, 7 монографий, под его руководством были защищены 12 кандидатских диссертаций. Александр Леонтьевич является почетным работником высшего профессионального образования РФ. Имя профессора Плотникова известно практически каждому специалисту в области теории резания и технологии машиностроения от Хабаровска до Брянска и Калининграда. Александр Леонтьевич активно работал в составе диссертационных советов в Волгограде и Саратове. В 2010–2012 годах выступил одним из инициаторов создания Ассоциации технологов-машиностроителей России.

Практически каждый сотрудник помнит внимательное отношение и мудрые слова Александра Леонтьевича, работа которого на всех этапах трудовой деятельности была направлена на сохранение дипломатических отношений всего факультета.

Для тысяч инженеров заботливо переданные Александром Леонтьевичем знания стали действительно базовыми, позволяя решать самые сложные инженерные задачи.

Коллеги и студенты знали Александра Леонтьевича как прекрасного, внимательного и отзывчивого человека, к которому всегда можно было обратиться за советом и поддержкой.

Александр Леонтьевич навсегда останется в нашей памяти. Нам всем будет не хватать Ваших мудрых советов, Александр Леонтьевич.



Ответственный за выпуск Жанна Сергеевна **ТИХОНОВА**

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

Корректурa **Н. Н. Кваши**  
Компьютерная верстка: **Е. В. Макарова**

---

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.  
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

---

**Учредитель:**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)

---

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.  
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)  
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00  
**E-mail:** president@vstu.ru

---

Темплан 2024 г. Поз. № 2ж. Дата выхода в свет 27.03.2024 г. Формат 60 x 84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 9,55.  
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 193.

Отпечатано в типографии Издательства ВолгГТУ  
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

---

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

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

К публикации допускается не более двух статей автора в выпуске.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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