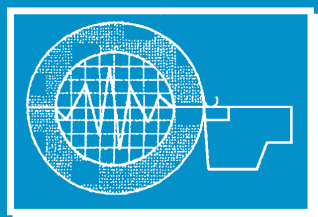


ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского
государственного
технического
университета

ISSN 1990-5297



Серия
Прогрессивные технологии
в машиностроении

16+

№ 3 (274)
2023

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-
rf.ru/cat/1/edition/y_e80811/)

Тел. издательства ВолгГТУ:

8-(8442) 24-84-05

8-(8442) 24-84-08

zavrio@vstu.ru

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

№ 3 (274)
Март
2023

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Адрес редакции:

Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.

Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00

E-mail: president@vstu.ru

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

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

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Head Editor of the scientific journal "Izvestiya VSTU":

Novakov I. A. – Academician of RAS, Prof., Doctor of Chemistry, President of VSTU

Editorial board:

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

Bezyazychny V. F., D. Sc. (Engineering), Prof., Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. 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 (274)
March
2023

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

- Абакумова С. Ю. 37
Агапов С. И. 7, 9, 37
Барабанов В. Г. 44
Бекренев Н. В. 31
Блинов В. С. 18, 21
Божкова С. Е. 40
Великанов А. А. 44
Волков И. В. 62
Волкова Е. С. 37
Горелова А. Ю. 76
Жданов А. А. 11, 14
Залипаев П. П. 47
Залипаева О. А. 47
Злобина И. В. 31
Иванова В. В. 50
Каверин А. Д. 47
Карлов В. И. 55
Киракосян К. А. 7
Князев Д. С. 50, 52
Корпелянский О. Ф. 7, 9
Крайнев Д. В. 11
Крутевич В. С. 37
Крыхтин Ю. И. 55, 73
Кухтик М. П. 52
Линьков Д. П. 14
Лопушков Д. С. 58
Лопушкова Е. С. 58
Лубчинский К. А. 40
Макаров А. М. 58, 62
Макарова Е. А. 52
Макарова О. А. 18, 21
Мамбаталиев А. Т. 23
Маслов Д. А. 27
Минаева А. Г. 14
Мулдашева Г. К. 31
Новикова Л. Н. 9
Овсянников В. Е. 27
Овчинников Г. Н. 62
Ольштынский С. Н. 79, 34
Панюлайтис А. С. 62
Порхун А. П. 50
Поступаева С. Г. 47, 65
Прокудин Г. Ю. 70
Репников А. И. 73
Сидякин Ю. И. 34, 37
Скарлухина Е. И. 76
Тихонова Ж. С. 14
Устьякин О. Р. 11
Федорова Н. В. 65
Фролов Е. М. 11
Храмова В. Н. 40
Чигиринский Ю. Л. 23
Шандыбина И. М. 50, 52
Шаронов Н. Г. 70
Шпитко Г. Н. 27
Яковлев А. А. 65, 73
Ящук В. М. 40

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Агапов С. И., Корпелянский О. Ф., Ольштынский С. Н., Киракосян К. А.</i> Расчет формы и размеров ультразвукового концентратора для заточки осевого металлорежущего инструмента с применением ультразвуковых колебаний.....	7
<i>Агапов С. И., Корпелянский О. Ф., Ольштынский С. Н., Новикова Л. Н.</i> Расчет мощности ультразвукового генератора при введении высокочастотных колебаний в зону переточки осевого металлорежущего инструмента.....	9
<i>Жданов А. А., Крайнев Д. В., Фролов Е. М., Устьякин О. Р.</i> Подходы к измерению сил резания на токарных станках с ЧПУ с применением СОТС.....	11
<i>Жданов А. А., Тихонова Ж. С., Линьков Д. П., Минаева А. Г.</i> Возможности прогнозирования показателей шероховатости поверхности при токарной обработке стальных заготовок твердосплавными резцами с применением СОТС.....	14
<i>Макарова О. А., Блинов В. С.</i> Расчет собственных частот пильного диска пилы пакетного резания с использованием T-FLEX Анализа.....	18
<i>Макарова О. А., Блинов В. С.</i> Резонансное разрушение пильного диска пилы пакетного резания при работе на высоких скоростях.....	21
<i>Мамбаталиев А. Т., Чигиринский Ю. Л.</i> Конструктивно-технологические особенности инструмента для холодной высадки.....	23
<i>Маслов Д. А., Овсянников В. Е., Шпитко Г. Н.</i> Модель для оценки износа режущего инструмента на основе искусственного интеллекта.....	27
<i>Мулдашева Г. К., Злобина И. В., Бекренев Н. В.</i> Исследование ультразвукового сверления отверстий малого диаметра в деталях из труднообрабатываемых материалов.....	31
<i>Ольштынский С. Н., Сидякин Ю. И.</i> Особенности работы инерционного раскатника при обработке отверстий поверхностным пластическим деформированием.....	34
<i>Сидякин Ю. И., Агапов С. И., Абакумова С. Ю., Волкова Е. С., Крутевич В. С.</i> Повышение изгибной прочности зубчатых колес поверхностным пластическим деформированием.....	37
<i>Храмова В. Н., Божкова С. Е., Яцук В. М., Лубчинский К. А.</i> Модернизация конструктивных элементов пекарной формы.....	40

Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Великанов А. А., Барабанов В. Г.</i> Разработка автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) на кольцевых пересечениях.....	44
<i>Залипаева О. А., Каверин А. Д., Залипаев П. П., Поступаева С. Г.</i> Импульсное регулирование псевдооживленного слоя в теплообменных аппаратах.....	47
<i>Князев Д. С., Иванова В. В., Порхун А. П., Шандыбина И. М.</i> Техническая реализация автоматизированной системы процесса упаковки крышки кувшина в термоусадочную пленку.....	50

<i>Князев Д. С., Макарова Е. А., Шандыбина И. М., Кухтик М. П.</i> Автоматизированная система процесса упаковки крышки кувшина в термоусадочную пленку.....	52
<i>Крыхтин Ю. И., Карлов В. И.</i> К разработке силового агрегата повышенной мощности насосной установки комплекса для гидроразрыва перемычек пластов нефтяных и газовых изолированных полостей.....	55
<i>Лопушков Д. С., Лопушкова Е. С., Макаров А. М.</i> Моделирование пневматического модуля автоматизированного лечебно-оздоровительного устройства.....	58
<i>Панюлайтис А. С., Овчинников Г. Н., Волков И. В., Макаров А. М.</i> Исследование автоматизированной системы высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов.....	62
<i>Поступаева С. Г., Яковлев А. А., Федорова Н. В.</i> Построение модели физического принципа действия автономного локомотива с паросиловой установкой.....	65
<i>Прокудин Г. Ю., Шаронов Н. Г.</i> Разработка системы управления дозированием компонентов в автоматизированной литейной установке.....	70
<i>Репников А. И., Кухтик М. П., Яковлев А. А.</i> Автоматизированная система управления детской каруселью с вращающейся платформой и фонтаном.....	73
<i>Скарлухина Е. И., Горелова А. Ю.</i> Автоматизация процесса подбора насосного оборудования.....	76

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.833.002

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-7-9

С. И. Агапов, О. Ф. Корпелянский, С. Н. Ольштынский, К. А. Киракосян

РАСЧЕТ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ЗАТОЧКИ ОСЕВОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmach@vstu.ru

Рассматриваются вопросы, связанные с ультразвуковыми концентраторами, скоростью распространения ультразвуковых волн в твердых материалах, а также приводится схема спроектированного и изготовленного ступенчатого ультразвукового концентратора.

Ключевые слова: ультразвуковой концентратор, потребляемая мощность ультразвукового блока, заточка осевого режущего инструмента.

S. I. Agapov, O. F. Korpelyansky, S. N. Olshtynsky, K. A. Kirakosyan

CALCULATION OF THE FORM AND DIMENSIONS OF ULTRASONIC CONCENTRATOR FOR SHARPENING AXIAL CUTTING TOOLS WITH USING ULTRASONIC VIBRATIONS

Volgograd State Technical University

The Issues related to ultrasonic concentrators, the propagation velocity of ultrasonic waves in solid materials are considered, and a diagram of the designed and manufactured stepped ultrasonic concentrator is given.

Keywords: ultrasonic concentrator, power consumption of the ultrasonic unit, sharpening of the axial cutting tool.

Производительность процесса ультразвуковой обработки в значительной степени зависит от амплитуды колебаний – она растет с увеличением последней по квадратичному закону. У ультразвуковых преобразователей величина амплитуды колебаний не всегда достаточна для ультразвуковой обработки. Для ее увеличения на торце инструмента или заготовки, до максимально допустимой величины, применяются концентраторы ультразвуковой энергии.

Особенно важным этапом проектирования ультразвукового приспособления является определение типа, формы и размеров ультразвукового концентратора [1].

Существует несколько основных типов концентраторов, применяемых в настоящее время в промышленности. К ним относятся ступенчатые, конические и экспоненциальные концентраторы. В виду особенностей крепления концентратора, в цанговом патроне заточ-

ного полуавтомата модели 3Г653, не представляется возможным установка конического или экспоненциального концентраторов, поэтому для создания излучающего ультразвукового волновода был выбран ступенчатый концентратор. Для улучшения показателей усиления амплитуды ультразвуковых колебаний, переход между ступенями выполнен в виде экспоненциальной части.

Диаметр большей ступени концентратора определяется внутренним диаметром зажимного приспособления станка и составляет (D) Ø35 мм. Для уменьшения величины рассеивания амплитуды колебаний диаметр у меньшей ступени концентратора выбирается из условия, что коэффициент усиления излучающего волновода определяется как отношение диаметров большей ступени D к диаметру меньшей ступени d [2]:

$$n = \frac{D}{d}, \quad n \leq 4,6. \quad (1)$$

Исходя из данного условия и конструктивных особенностей заточного станка выбирать диаметр второй ступени равным $d = 24$ мм, так как данная ступень приспособления будет содержать конус Морзе №1 для крепления затачиваемого инструмента. В данном случае толщина второй ступени на торце конуса Морзе составит примерно 6 мм, что обеспечит достаточную жесткость приспособления для крепления осевого режущего инструмента диаметром 10...14 мм.

Для получения максимальной амплитуды на торцах концентратора и режущего инструмента необходимо рассчитать длины ступеней концентратора и режущего инструмента [3].

Ультразвуковые концентраторы, которые рассматриваются в данной работе, относятся к типу полуволновых концентраторов, что означает, что длина концентратора от источника возбуждения ультразвуковых колебаний до рабочего торца (до торца затачиваемого инструмента) должна быть кратна половине длины ультразвуковой волны в данном материале. Данный аспект обусловлен тем, что максимальная амплитуда колебания ультразвуковой волны расположена как раз на половине длины волны, а значит длину концентратора можно определить из соотношения:

$$L \cong \frac{\lambda}{2} + k \cdot \lambda, \quad (2)$$

где λ – длина ультразвуковой волны в стали; k – целое неотрицательное число.

Скорость распространения ультразвуковых волн в твердых материалах зависит от плотности и упругости среды. Особенности передачи ультразвуковых колебаний являются их направленность и возможность фокусирования энергии на сравнительно небольшую площадь инструмента, оснастки или заготовки. Источник ультразвуковых колебаний периодически сжимает примыкающие к нему частицы среды, которые передают это сжатие следующему прилегающему слою, и волны сжатия, чередуясь с волнами разрежения, проходят через пространство, занимаемое данной средой. В газах и жидкостях, которые обладают упругостью объема, но не обладают упругостью формы, могут распространяться лишь продольные волны разрежения-сжатия, при этом колебания частиц среды происходят в направлении распространения волн.

Скорость распространения продольных звуковых волн в стержнях постоянного сечения

(волноводах), наибольший размер которых значительно меньше длины волны, можно определить по зависимости:

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

где E – модуль Юнга, Па; ρ – плотность, кг/м³.

В более толстых стержнях концентратора сказывается эффект поперечного сжатия – увеличение инерции в результате радиальных колебаний. Это кажущееся увеличение массы вызывает рост периода собственных колебаний стержня длиной l и уменьшает скорость распространения продольных волн c_n .

Большинство применяемых при ультразвуковой обработке волноводов в виде стержней имеет диаметр до 60 мм и разница между значениями c_n и c_l не превышает 2 % [3]. Поэтому поправку в этих случаях можно не учитывать.

Подставив значения для углеродистой стали в формулу (3), модуль Юнга $E=210$ ГПа, плотность $\rho = 7800$ кг/м³, получим скорость ультразвуковой волны в волноводе равной $c_l = 5188,75$ м/с.

Соответственно длина волны в волноводе находится из условия:

$$\lambda = \frac{c_l}{f}, \quad (4)$$

где f – частота ультразвуковых колебаний для рассчитываемого концентратора.

Для пьезоэлектрических колец рабочая частота $f = 18$ кГц, длина волны для закаленной стали 40Х составляет 288 мм.

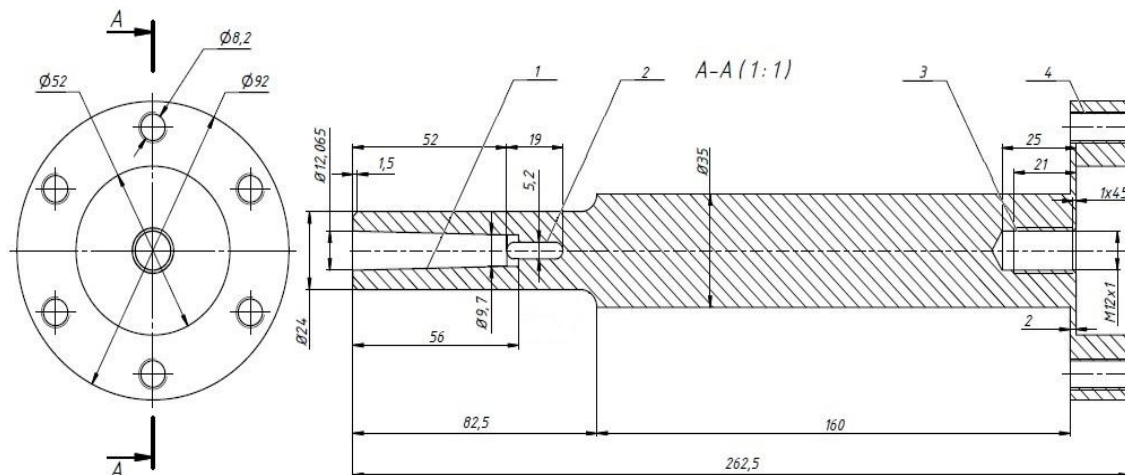
Рассчитать длину концентратора необходимо по ранее приведенной формуле (2). Общая длина волновода вместе с закрепленным инструментом должна составлять: $L \cong 144$ (при $k=0$) или $L \cong 432$ (при $k=1$).

Длина волновода $L \cong 144$ мм является более предпочтительной, так как с увеличением длины волновода также увеличивается и затухание амплитуды колебаний. Однако длина $L \cong 144$ мм не может быть принята за расчетную, поскольку она является недостаточной, ввиду особенностей конструкции и длины цангового патрона, в котором закрепляется разрабатываемое приспособление. Поэтому принимаем расчетную длину приспособления с инструментом $L \cong 432$ мм, поскольку дальнейшее увеличение длины волновода нецелесообразно и приведет к затуханию амплитуды колебаний. Согласно ГОСТ 2092–77, 10903–77 и 12121–77, длина вылета рабочей части соответственно сверл,

зенкеров и разверток диаметром $d = 10 \dots 14$ мм составляет $l = 120 \dots 150$ мм.

Учитывая вышеизложенное, а также тот факт, что амплитуда колебаний на конце инструмента возрастает с нуля до максимума на об-

щей длине концентратора $L = \lambda = 288$ мм и конструктивные особенности крепления концентратора на заточном полуавтомате 3Г653, был спроектирован и изготовлен ступенчатый ультразвуковой концентратор (изображен на рисунке).



Ступенчатый концентратор ультразвуковых колебаний

Волновод оснащен технологическими элементами, необходимыми для сборки или функционирования приспособления:

1 – конус Морзе №1 для крепления режущего инструмента;

2 – паз конуса Морзе №1 для извлечения заточиваемого инструмента;

3 – центральное резьбовое отверстие для крепления стягивающей шпильки;

4 – шесть резьбовых отверстий для крепле-

ния к волноводу корпуса ультразвуковой головки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агапов, С. И. Нарезание зубчатых колес с использованием ультразвука : монография / С. И. Агапов, Ю. И. Сидякин. – Волгоград, 2010. – 148 с.
2. Менетнер, Ю. Х. Методы расчета и конструирования инструментов для ультразвуковой обработки / Ю. Х. Менетнер. – М. : ЭНИМС, 1963. – 59 с.
3. Меркулов, Л. Г. Теория и расчет составных концентраторов / Л. Г. Меркулов, А. В. Харитонов // Акустический журнал. – 1959. – Т. 5. Вып. 2. – С. 183–190.

УДК 621.833.002

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-9-11

С. И. Агапов, О. Ф. Корпелянский, С. Н. Ольштынский, Л. Н. Новикова

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ВВЕДЕНИИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЗОНУ ПЕРЕТОЧКИ ОСЕВОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmach@vstu.ru

Рассматриваются вопросы, связанные с потребляемой мощностью ультразвукового блока при заточке осевого режущего инструмента.

Ключевые слова: потребляемая мощность ультразвукового блока, заточка осевого режущего инструмента.

S. I. Agapov, O. F. Korpelyansky, S. N. Olshtynsky, L. N. Novikova

CALCULATION OF THE POWER OF AN ULTRASONIC GENERATOR WITH THE INTRODUCTION OF ULTRASONIC VIBRATIONS INTO THE RESHARPENING ZONE OF AN AXIAL METAL-CUTTING TOOL

Volgograd State Technical University

The issues related to the power consumption of the ultrasonic unit when sharpening an axial cutting tool are considered.

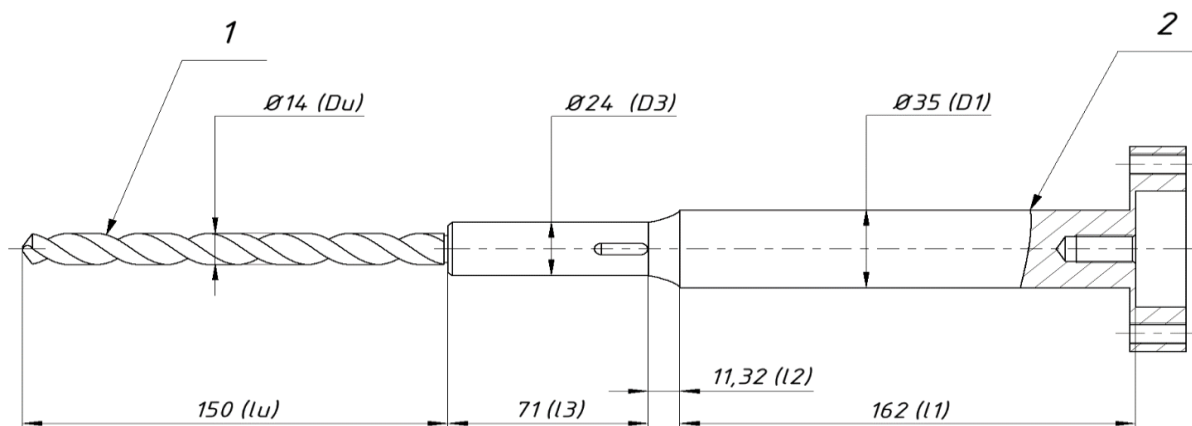
Keywords: power consumption of the ultrasonic unit, sharpening of the axial cutting tool.

Для выполнения операций, связанных с ультразвуковой заточкой металлорежущего инструмента (сверл, зенкеров и разверток) требуется передача интенсивного ультразвукового воздействия от пьезоэлектрического преобразователя к заготовке. Это осуществляется с помощью концентраторов. Режущие инструменты устанавливаются в конусное отверстие меньшего диаметра концентратора. Значительный интерес представляют составные концентраторы, образованные соединением стержней переменного сечения [Агапов, С. И. Нарезание зубчатых колес с использованием ультразвука : монография / С. И. Агапов, Ю. И. Сидякин. – Волгоград, 2010. – 148 с.], поэтому необходимо рассчитать потребляемую мощность ультразвукового блока.

Для успешной работы ультразвукового приспособления необходимо рассчитать его мощность и подобрать оптимальный генератор.

Уравнения, экспоненциальный концентратор (рисунок) имеет вид:

$$S_z = S_2 \cdot e^{-\beta z}$$



Экспоненциальный концентратор с инструментом:

1 – инструмент; 2 – концентратор

отсюда имеем:

$$J_{k2} = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot D_1^4}{64 \cdot g \cdot \beta} \cdot (1 - e^{-z\beta l_2}); \quad \beta = \frac{1}{l} \cdot \ln \frac{D_1}{D_3}$$

подставляя численные значения, получим:

$$J_{k2} = \frac{3,14 \cdot 7800 \cdot 0,035^4}{64 \cdot 9,80 \cdot 33} (1 - 2,7^{-2,33 \cdot 0,01132}) = 9,33 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$V_3 = \pi \cdot r_3^2 \cdot l_3 = 3,14 \cdot 12^2 \cdot 71 = 32103,36 \text{ мм}^3 = 32,1 \text{ см}^3$$

$$m_1 = 7,8 \cdot 157,95 = 250,4 \text{ г}$$

$$J_{k3} = \frac{m_3 \cdot r_3^2}{2} = \frac{0,2504 \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2}{2} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_k = 1,86 \cdot 10^{-4} + 9,33 \cdot 10^{-7} + 1,8 \cdot 10^{-5} = 2,04933 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции концентратора равен:

$$J_k = J_{k1} + J_{k2} + J_{k3},$$

где J_{k1} – момент инерции части концентратора диаметром D_1 ; J_{k2} – момент инерции экспоненциальной части концентратора; J_{k3} – момент инерции части концентратора диаметром D_3 .

Тогда $J_{k1} = \frac{m_1 \cdot r_1^2}{2}$ и $m_1 = \gamma \cdot V_1$, подставляя расчетные формулы получим:

$$V_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot l_1 = \pi \cdot 17,5^2 \cdot 164,25 = 155788 \text{ мм}^3 = 155,78 \text{ см}^3$$

$$m_1 = 7,8 \cdot 155,78 = 1215 \text{ г.}$$

$$J_{k1} = \frac{1,215 \cdot (17,5 \cdot 10^{-3})^2}{2} = 1,86 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

момент инерции экспоненциальной части концентратора:

$$J_{k2} = \frac{\gamma \cdot S_0^2}{2 \cdot \pi \cdot g} \cdot \int_0^l e^{-2\beta \cdot z} dz;$$

где γ – удельный вес материала концентратора,

Результирующий момент инерции:

$$J = J_k + J_u = 2,04933 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-6} = 2,08933 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Максимальная угловая скорость на конце установленного инструмента:

$$\omega = \frac{4 \cdot \pi \cdot f \cdot \xi}{d_u},$$

где ξ – амплитуда колебаний концентратора; f – частота работы генератора ультразвуковых колебаний.

Подставив численные значения, получаем:

$$\omega = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 17,34 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{14 \cdot 10^{-3}} = 93,338 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 14,855 \frac{1}{\text{с}};$$

Изменение кинетической энергии вращающейся системы можно определить по формуле:

$$\Delta E = \frac{J \cdot \omega^2}{2} (1 - K^2);$$

где $K = 0,555$ – коэффициент восстановления для стали; подставляя числовые значения получаем:

$$\Delta E = \frac{2,08933 \cdot 10^{-4} \cdot 14,855^2}{2} (1 - 0,555^2) = 1,592 \cdot 10^{-2} \text{ Дж};$$

Мощность, расходуемая при одном контактировании равна:

$$W_{\max} = \frac{\Delta E}{t_k \cdot 7500}, \quad a \quad t_k = \alpha \cdot \frac{1}{f_p},$$

где t_k – время контакта; α – коэффициент времени контакта принимается равным 0,37, отсюда получаем:

$$t_k = 0,37 \cdot \frac{1}{17,34 \cdot 10^3} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ с};$$

Отсюда, мощность, расходуемая на одно контактирование:

$$W_{\max} = \frac{1,592 \cdot 10^{-2}}{2,1 \cdot 10^{-5} \cdot 7500} = 0,101 \text{ кВт}.$$

Принимая во внимание синусоидальный закон гармонический закон изменения действующей силы, средняя потребляемая мощность:

$$W_{cp} = \frac{W_{\max} \cdot 2}{\pi} = \frac{0,101 \cdot 2}{\pi} = 0,064 \text{ кВт}.$$

В настоящее время в РФ выпуск ультразвуковых генераторов с широким диапазоном мощностей и частот не налажен, поэтому при исследованиях использовался генератор мощностью 0,25 кВт от ультразвуковой мойки.

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-11-14

А. А. Жданов, Д. В. Крайнев, Е. М. Фролов, О. Р. Устьякин

ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ СИЛ РЕЗАНИЯ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОТС

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alex_128@mail.ru

В работе произведен анализ литературных источников, в которых рассматриваются способы измерения сил резания на станках ЧПУ, проблемы измерения силы резания при работе с СОТС и предлагаемые способы решения.

Ключевые слова: смазывающе-охлаждающие жидкости, силы резания, СОТС, стойкость инструмента, режимы резания, термоЭДС.

A. A. Zhdanov, D. V. Krainev, E. M. Frolov, O. R. Ustyakin

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR EVALUATING THE COMPONENTS OF CUTTING FORCES ON CNC LATHES

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the literature sources, which consider the method of measuring cutting forces on CNC machines, as well as the problems of measuring cutting forces when working with STS.

Keywords: lubricating and cooling fluids, cutting forces, STS, tool life, cutting modes, thermal EMF.

В последнее десятилетие наблюдается увеличение интенсивности режимов резания в механообработке, связанное с повышением про-

изводительности труда, снижением затрат. Несмотря на широкое применение математических методов расчетов явлений в зоне резания,

актуальны задачи натурного эксперимента, необходимые для точного понимания процессов, анализа и оптимизации алгоритмов технологии обработки. Измерения сил резания позволяют определить физико-механические характеристики материалов и их пригодность к обработке резанием, проанализировать механизм износа режущего инструмента, дать информацию для определения размеров конструкций и компонентов станков. Особенно актуально измерение сил резания в связи с постоянно возрастающим использованием труднообрабатываемых материалов, требующим управления процессом резания, детального анализа и применения экспертных знаний для эффективного и воспроизводимого производственного процесса.

В работе М. Ф. Полетика [1] подробно изложены основы классификации приборов для измерения составляющих сил резания, рассмотрены конструкции, построенные на разных физических принципах, дан их подробный сравнительный анализ, освещены вопросы эксплуатации динамометров. Методический подход автора к освещению темы до сих пор не потерял актуальность и может быть применим для современной оценки состояния вопроса.

В. Б. Самойлова [2] рассмотрены варианты применения такого распространенного динамометра, как УДМ конструкции ВНИИ [3] для решения задач измерения сил резания путем глубокой модернизации аппаратной части комплекта. Прибор выпускается в трех моделях

с различными максимальными нагрузками на вертикальные и горизонтальные опоры: УДМ-100, УДМ-600 и УДМ-1200, схемы соединения тензорезисторов и их номиналы одинаковы. Это позволило построить унифицированную систему вторичной аппаратуры и ПО, где в качестве первичных преобразователей использованы динамометры датчики УДМ, снабженные выходным разъемом 2РТ32У8НШЗ.

Для повышения точности измерений, возможности масштабирования решений и существенного снижения стоимости предложено программно-аппаратную часть выполнить на базе решений от компании National Instruments, используя один специализированный модуль, работающий в комплекте с универсальными интерфейсными блоками.

За основу комплекта взят модуль NI-9237 [4], устанавливаемый в контейнеры с одним слотом и интерфейсами USB/Ethernet/WiFi или в шасси NI cDAQ-9174, если необходимо задействовать одновременно до четырех измерительных модулей под разные задачи измерения. Измерения проводились в программной среде приложений NI SignalExpress, которая максимально эффективно использует концепцию виртуальных приборов, позволяя интерактивно, в реальном времени проводить измерения, не прибегая к программированию. Эта среда может использоваться для сбора, генерации, анализа, сравнения, загрузки и сохранения сигналов. Также было применено программное обеспечение LabVIEW 2017.

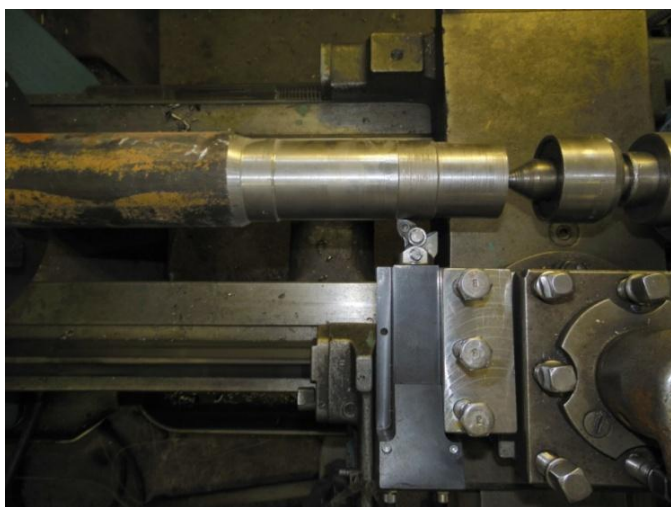


Рис. 1. Схема измерения сил резания динамометром DKM 2010

Для измерения составляющих силы резания используются также токарные динамометры, например, DKM 2010 фирмы «TeLC» Германия, представляющие специальную оправку для резцедержателя, измерительная схема которого интегрирована с персональным компьютером (рис. 1). Конструкция динамометра и измерительная схема обеспечивали повышенную точность измерения составляющих силы резания (погрешность измерения 0,1 %).

Устройство позволяет выполнять измерения тангенциальной, радиальной и осевой составляющих силы резания, температуру резания и уровень изношенности СМП посредст-

вом мониторинга изменения в процессе обработки отношения тангенциальной составляющей силы резания к радиальной. При запуске работы динамометра с персональным компьютером (из интерфейсного меню) начинается непрерывная регистрация показаний датчиков до остановки записи оператором. Фрагмент интерфейсного меню динамометра представлен на рис. 2. Программное обеспечение обеспечивает запись, сохранение, вывод и обработку экспериментальных данных. На рис. 2 показан пример построения диаграммы сил резания, фиксируемых в программе XKM-2000 Trialversion.

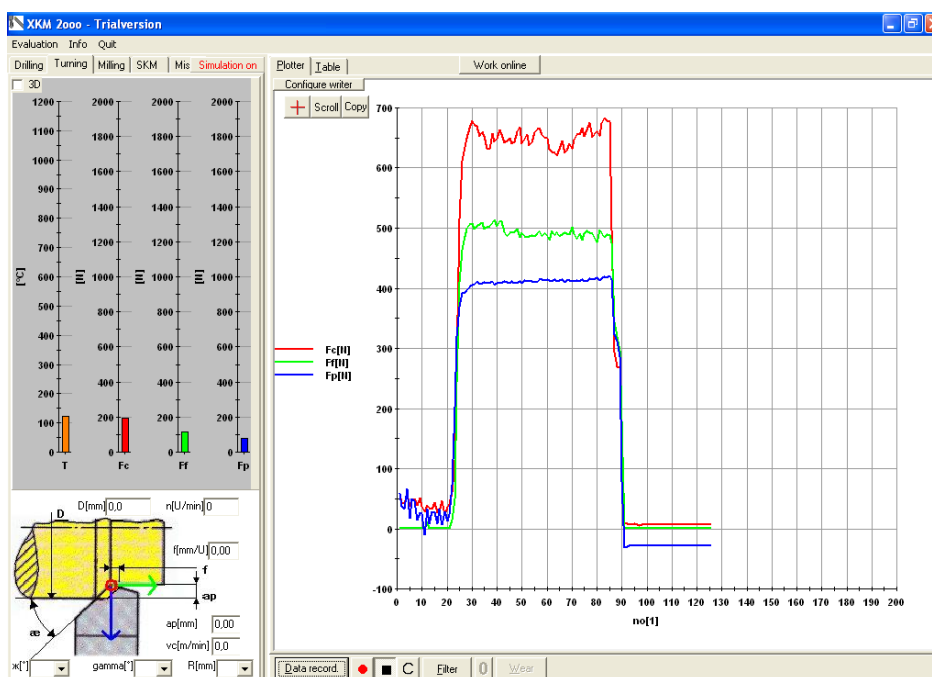


Рис. 2. Диаграмма сил резания

Данный прибор широко применялся различными авторами, занимавшимися исследованиями процесса резания на токарных станках при работе без применения СОТС [4; 5].

В современном станочном парке станки с ЧПУ занимают все большую долю. При работе станков с ЧПУ по системе безлюдной технологии или в режиме многостаночного обслуживания процесс резания всегда сопровождается включением СОТС. Это нужно не только и не столько для непосредственно охлаждения, сколько для увода стружки из зоны резания. В противном случае можно наблюдать наматывание стружки на рабочие органы станка или ее накопление на рабочих органах.

Как правило, методы оценки сил резания не предполагают обработку с применением СОТС,

т. к. это может повлечь за собой попадание жидкости в зону датчиков и электроники измерительных приборов, которые, зачастую, являются весьма дорогостоящими. Авторами статьи предлагается 2 способа решения данной проблемы:

Способ № 1. Создание специальной динамометрической оправки для станков с ЧПУ. Идея заключается в разработке конструкции оправки, которая может быть установлена в позиции режущего инструмента в revolverной головке станка с ЧПУ. При этом ее конструкция должна обеспечивать защиту внутренних органов, отвечающих за измерение и обработку сигнала с датчиков, от попадания влаги. Это интересная и непростая конструкторская задача, которая должна быть интересна производи-

телям станочного оборудования, режущего и измерительного инструмента и, вероятно, в ближайшем будущем будет решена.

Способ № 2. Использование существующих возможностей современного оборудования с ЧПУ. Так станки производства Италии, Германии и Японии позволяют снимать показания загрузки привода главного движения, а некоторые из моделей позволяют еще и получать информацию о загрузке по осям. Естественно, данные измерения не являются корректными в привычном с метрологической точки зрения смысле: в паспорте оборудования с ЧПУ не приводятся количественные показатели погрешностей измерения.

Поэтому авторами статьи предлагается произвести серию экспериментов по установлению возможности оценки величины силы резания на основе сигналов стойки ЧПУ на примере станка GENOS OKUMA – L300M. Данный станок позволяет получать информацию о загрузке привода главного движения в процентах с точностью до десятых долей.

Регламент планируемого экспериментального исследования:

1. Производить продольное точение стальной заготовки твердосплавными резцами на различных режимах, параллельно снимая показания со стойки ЧПУ станка о загрузке привода главного движения, а также с динамометра типа DKM-2010 по измеренным силам резания.

2. Получить тарировочную кривую для перевода значений загрузки привода в значения составляющих силы резания. Для конкретной геометрии режущего инструмента.

3. Исследовать возможность введения поправочных коэффициентов для оценки составляющих сил резания при точении режущими пластинами другой геометрии.

4. Оценить метрологические показатели.

Выводы:

1. В работе проанализированы способы измерения сил резания на токарных станках.

2. Выявлены недостатки существующих способов измерения сил резания при работе с СОТС.

3. Рассмотрены два способа решения проблемы измерения сил резания с применением СОТС на станках с ЧПУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полетика, М. Ф. Приборы для измерения сил резания / М. Ф. Полетика. – М. : Машгиз, 1962.
2. Самойлов, В. Б. Модернизация системы для измерения сил резания на базе динамометров серии УДМ / В. Б. Самойлов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2019. – № 5 (128). – С. 91–103.
3. Руководство к универсальному динамометру УДМ конструкции ВНИИ. – М. : ВНИИ, 1983.
4. Проблемы обеспечения точности расчета скорости резания и силы резания при проектировании технологического процесса токарной обработки стальных и пути их решения / А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Т. В. Уварова, И. И. Бровкин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (187) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 41–46.
5. Плотников, А. Л. Физические основы автоматизированного метода определения составляющих силы резания на токарных станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, В. В. Еремеев // Автоматизация технологических процессов в машиностроении : межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2000. – С. 97–102.

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-14-18

А. А. Жданов, Ж. С. Тихонова, Д. П. Линьков, А. Г. Минаева

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЗЦАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОТС

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dmitrylinkov@bk.ru

В работе произведен анализ состояния вопроса влияния смазывающе-охлаждающих жидкостей на показатели шероховатости при токарной обработке на станках с ЧПУ, а также возможностей прогнозирования количественных показателей шероховатости.

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

A. A. Zhdanov, Zh. S. Tikhonova, D. P. Linkov, A. G. Minaeva

POSSIBILITIES OF PREDICTION OF SURFACE ROUGHNESS INDICATORS WHEN TURNING STEEL BLANKS WITH CARBIDE CUTTER

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the state of the issue of the influence of lubricating fluids on roughness indicators in turning on CNC machines, as well as the possibilities of predicting quantitative indicators of roughness.

Keywords: thermoEMF, lubricating-cooling liquids, LUTS, tool life, cutting conditions, roughness

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) оказывает благоприятное действие на процесс резания металлов, значительно уменьшает износ режущего инструмента, повышает качество обработанной поверхности и снижает затраты энергии [1].

При работе станков с ЧПУ в режиме много-станочного обслуживания процесс резания всегда сопровождается включением СОТС. Это необходимо не только для непосредственного охлаждения, но и для увода стружки из зоны резания. В противном случае можно наблюдать наматывание стружки на рабочие органы станка, или ее накопление на рабочих органах. При

прерывистом охлаждении может произойти образование трещин в пластинах твердого сплава и инструмент быстро выйдет из строя.

Большое количество научных работ направлены на изучение влияния различных марок СОТС, применяемых в металлообработке, на параметры шероховатости поверхности. В научной работе [2] Сахиби З. были проведены сравнительные испытания резания труднообрабатываемых материалов твердосплавными резцами с использованием СОЖ и насухо (рис. 1). По результатам исследования, видно, что различные типы СОТС снижают значение шероховатости.

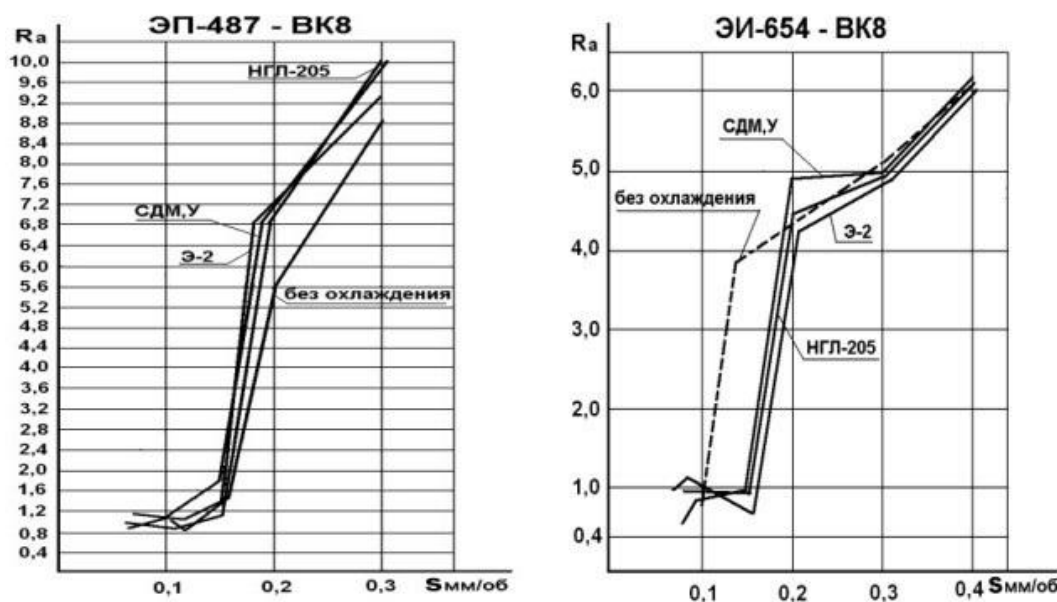


Рис. 1. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на шероховатость поверхности [2]

В исследовании [3] А. Г. Киселя говорится об изменении коэффициента трения контактной пары «сталь 45 – твердый сплав Т15К6» с применением СОТС. Автор указывает, что при применении водоземulsionных СОТС коэффициент трения снижается и становится равен от 77,5 до 90,0 %, а при синтетических СОТС от 66,3 до 82,5 %.

Микронеровности поверхностей деталей существенно влияют на эксплуатационные

свойства. При разработке операции механической обработки возникает задача прогнозирования параметров шероховатости, что обеспечивает более обоснованный выбор инструмента, режимов резания и других условий ее выполнения.

Так, в работе [4] С. Л. Леонова приведены алгоритмы, позволяющие прогнозировать топографию поверхности для обеспечения требуемого качества покрытия и прочности его сцеп-

ления с основой. Было показано, что основной вклад в шероховатость поверхности основы имеет геометрия рабочей части инструмента. Форма рисок шероховатости при геометрическом копировании определяется главным и вспомогательным углами резца в плане ϕ , ϕ_1 , радиусом при вершине резца r и величиной подачи на оборот детали S .

В работе А. Л. Плотникова, А. С. Сергеева [5] была проанализирована следующая формула для предварительного определения шероховатости:

$$R_a = K \frac{S^{0,85} (90 + \gamma)^{0,65}}{r^{0,36} V^{0,15}}. \quad (1)$$

Недостатком данной формулы по мнению авторов является то, что она справедлива для обрабатываемых сталей (Ст3, 20, 45, 70) и не учитывает влияние марки инструментального материала на параметр шероховатости R_a . Но ведь при смене марки инструментального

материала изменяется его теплопроводность. Влияние теплопроводности контактируемых пар на шероховатость проявляется через передачу количества выделенного при резании тепла в инструмент и стальную заготовку, т. е. через коэффициент теплоусвоения, представляющий собой отношение теплофизических характеристик инструмента и стальной заготовки. Данный недостаток приводит к браку по качеству обработанной поверхности или к недоиспользованию резерва повышения производительности (подачи S). Предложен подход, когда формула (1) принимает следующий вид [5]:

$$R_a = (A + 0,11E) \frac{S^{0,85} (90 + \gamma)^{0,65}}{r^{0,36} V^{0,15}}. \quad (2)$$

В таблице приведено сравнение экспериментального и расчетного значения показателя R_a при полустальной и чистой обработке стали 45.

Сравнение результатов эксперимента и расчета для стали 45 [5]

Скорость резания V , м/мин	Подача S , мм/об	Глубина резания, мм	Шероховатость R_a , мкм			Шероховатость R_a , мкм		
			Расч. по прототипу	Измер. по прототипу	Процент относ. ошибки	Расч. по предл. способу	Измер. по предл. способу	Процент относ. ошибки
80	0,26	1	7,5	4,3	75	4,8	4,3	11
	0,3	1	8,4	4,9	72	5,6	4,9	14
	0,34	1	9,3	5,8	60	6,0	5,8	4
100	0,26	1	7,2	3,5	104	4,6	3,5	31
	0,3	1	7,9	4,6	71	5,3	4,6	15
	0,34	1	8,7	5,7	42	5,8	5,7	2
120	0,26	1	6,8	3,4	100	4,5	3,4	32
	0,3	1	7,6	4,8	58	5,2	4,8	8
	0,34	1	8,4	4,7	78	5,6	4,7	19
140	0,11	0,5	3,5	1,8	94	2,08	1,8	11
	0,15	0,5	4,4	2,4	83	2,7	2,4	12
	0,21	0,5	5,7	2,7	110	3,5	2,7	29
160	0,11	0,5	3,3	1,5	124	2,08	1,5	33
	0,15	0,5	4,3	2,03	113	2,7	2,03	35
	0,21	0,5	5,5	2,3	139	3,5	2,3	34
180	0,11	0,5	3,3	1,7	105	2,0	1,7	18
	0,15	0,5	4,1	2,3	78	2,7	2,3	17
	0,21	0,5	5,3	3,3	60	2,6	3,3	21

Результатом экспериментальных исследований является полученная математическая модель расчета среднего арифметического отклонения профиля поверхности R_a при продольном точении [6]:

$$R_a = C_{R_a} \cdot \frac{E^{K_1} \cdot t^{K_2} \cdot S^{K_3}}{V^{K_4}}, \quad (3)$$

Данная методика не регламентирует номенклатуры марок применяемого твердосплавного инструмента и создает возможность про-

гнозирования параметра шероховатости Ra для каждой конкретной контактной пары материалов. Также величина термоЭДС зависит и от геометрии режущего инструмента, что позволяет не вводить в формулу дополнительные коэффициенты.

Однако до сих пор остается мало изученным вопрос прогнозирования параметров шероховатости поверхности при работе с СОТС. В данной работе предлагается использовать известный подход [5–7] предварительной диагностики режущих свойство контактной пары инструмент-заготовка по величине термоЭДС пробного прохода для прогнозирования пара-

метра Ra шероховатости поверхности при тонкой токарной обработке стальных заготовок твердосплавными резцами.

Для подтверждения возможностей применения данной методики предполагается проведение серии опытов по следующему регламенту:

1. Тарировка твердосплавных пластин. Тарировку предлагается осуществлять на лабораторном стенде, состоящем из токарно-револьверного станка с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M, прототипа устройства для автоматизированного измерения термоЭДС пробного прохода на базе микроконтроллера ArduinoNano [10].



Рис. 2. Экспериментальная установка

2. По результатам тарировки пластины делятся на три группы по минимальной, средней и максимальной величине термоЭДС соответственно.

3. Осуществляется точение на различных режимах (скорость резания, подача) при глубине резания, соответствующей тонкому точению (0,15 мм) с применением СОТС и без него.

4. Результаты эксперимента сводятся в математические модели методами регрессионного анализа.

Выводы:

1. В работе проанализированы существующие научные подходы к изучению вопроса обеспечения шероховатости поверхности при токарной обработке с применением СОТС.

2. Выявлены перспективные направления в вопросе прогнозирования величины отдельных параметров шероховатости при обработке

стальных заготовок твердосплавными резцами на станках с ЧПУ за счет использования сигнала термоЭДС пробного прохода.

3. Предложен план экспериментов по масштабированию известного метода прогнозирования параметров шероховатости поверхности на обработку с применением СОТС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феценко, В. Н. Обработка на токарно-револьверных станках : учеб. для ПТУ / В. Н. Феценко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1989. – 256 с.
2. Сахби, З. Влияние СОТС на силы резания и шероховатость обработанной поверхности при токарной обработке труднообрабатываемых материалов / З. Сахби, В. А. Богуславский, В. П. Демин // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XVI междунар. науч.-техн. конф. В 4 томах, Севастополь, 14–19 сентября 2009 года. Том 3. – Севастополь: Донецкий национальный технический университет, 2009. – С. 102–104.

3. Кисель, А. Г. Оценка технологической эффективности смазочно-охлаждающих жидкостей при лезвийной обработке / А. Г. Кисель, Д. С. Реченко // Механика XXI века. – 2013. – № 12. – С. 160–161.

4. Леонов, С. Л. Прогнозирование шероховатости при токарной обработке поверхности под нанесение покрытий / С. Л. Леонов, Е. Ю. Татаркин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009. – № 1(42). – С. 28–30.

5. Сергеев, А. С. Математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении сталей на основе оперативного сигнала термоЭДС / А. С. Сергеев, Н. Г. Зайцева, А. Л. Плотников // Обработка металлов. – 2012. – № 3. – С. 20–23.

6. Сергеев, А. С. Разработка математических моделей расчета параметров шероховатости при обработке деталей на токарных и фрезерных станках с ЧПУ / А. С. Сергеев // Поколение будущего: взгляд молодых ученых : матер. междунар. молодежной науч. конф. (14–20 нояб. 2012 г.). В 3 т. Т. 3: Прогрессивные технологии и процессы. Энергетика и энергосбережение. Нанотехнологии и наномате-

риалы / Юго-Западный гос. ун-т [и др.]. – Курск, 2012. – С. 160–163.

7. Анализ способов оценки влияния СОТС на стойкость твердосплавного инструмента и другие параметры процесса резания / А. А. Жданов, Ж. С. Тихонова, Д. А. Сницар, И. И. Ижбердеев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (262) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 7–10.

8. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

9. Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.

10. Рогачев, А. В. Прототип устройства автоматического назначения режимов резания / А. В. Рогачев // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тез. докл., Волгоград, 25–29 апреля 2022 года / Редколлегия: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. – С. 26–27.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-18-21

О. А. Макарова, В. С. Блинов

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПИЛЬНОГО ДИСКА ПИЛЫ ПАКЕТНОГО РЕЗАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ T-FLEX АНАЛИЗА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: blad.blinov@mabil.ru

Рассмотрен расчет собственных частот пильного диска пилы пакетного резания – основного режущего инструмента – в системе T-FLEX Анализ.

Ключевые слова: пила пакетной резки, собственные частоты, деформация конструкции.

O. A. Makarova, V. S. Blinov

CALCULATION OF THE NATURAL FREQUENCIES OF THE SAW BLADE OF A BATCH CUTTING SAW USING T-FLEX-ANALYSIS

Volgograd State Technical University

The calculation of the natural frequencies of the saw blade of the batch cutting saw – the main cutting tool – in the T-FLEX Analysis system is considered.

Keywords: Batch cutting saw, natural frequencies, structural deformation.

В современных реалиях на металлургических предприятиях на прокатных станах широко применяются автоматические линии резки горячего и холодного металлопроката на базе дискового станка высокой производительности. Наряду со сравнительно простой технологической реализацией и высокой производительностью этот процесс сопровождается возникновением вибраций и повышенными амплитудами колебаний пильного диска.

В процессе эксплуатации пильного диска из-за его нежесткой конструкции (толщина

диска 10 мм много меньше его диаметра 2000 мм), могут возникнуть значительные колебания и вибрации, обусловленные резонансными явлениями. Резонанс – это совпадение частоты внешней возбуждающей силы с собственной частотой колебаний диска [1]. Колебания пильного диска, как упругого тела, имеют бесчисленное множество собственных форм и частот. Форма колебаний определяется числом узловых диаметров и узловых окружностей. Каждой форме собственных колебаний соответствует строго определенная частота колебаний [2].

Под воздействием резонансной силы происходит деформация пильного диска, а при постоянном воздействии его разрушение, что особенно опасно при высоких скоростях вращения диска пилы (окружная скорость достигает около 100-120 м/с).

Для того чтобы бы обеспечить надежную работу пильного диска при эксплуатации, на этапе проектирования необходимо произвести расчет собственных частот колебаний. Проверку наличия резонансных частот в рабочем диапазоне, а также оптимизация конструкции пильного диска, позволят исключить эффект резонанса, повысить надежность диска и работоспособность.

Метод конечных элементов (МКЭ) на данный момент является одним из самых эффективных методов расчета собственных частот колебаний. Суть этого метода заключается в преобразовании исходной пространственной конструкции сложной формы в дискретную математическую модель, отражающую свойства исходного изделия и его физическую сущность.

Программное обеспечение «T-FLEX Анализ» – это встроенная с T-FLEX CAD среда конечно-элементных расчетов [3]. Расчет собственных частот начинается в среде T-FLEX CAD. Создается 3D – модель диска пилы с планшайбами, далее задаются материалы расчетной модели. Для расчета создается закрепление, а также накладывается конечно-элементная сетка. Генерация сетки производится автоматически, шаг сетки принимается самостоятельно. Чем меньше шаг сетки, тем точнее значения полученных результатов. Далее производится расчет

собственных частот и формирование отчета по задаче в автоматическом режиме.

На рис. 1 представлена 3D-модель пильного диска с конечно-элементной сеткой. В данном расчете собственных частот колебаний в качестве закрепления выбрано полное закрепление по планшайбе.

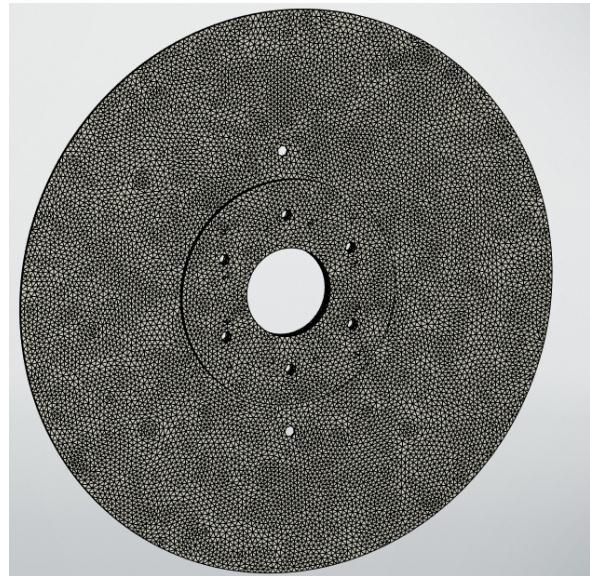


Рис. 1. 3D-модель пильного диска с конечно-элементной сеткой

На рис. 2–7 представлен характер деформации конструкции пильного диска на разных резонансных частотах с шагом сетки 0,2, хорошо видно отклонение положения плоскости диска от его первоначального положения. В скобках приведены числа узловых окружностей/диаметров соответственно.

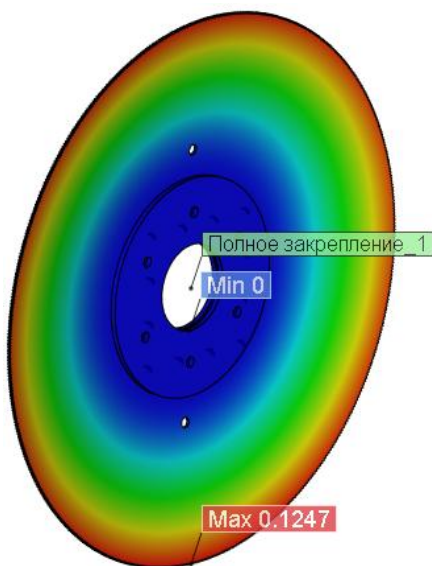


Рис. 2. Форма 1, собственная частота 22,8 Гц (0/0)

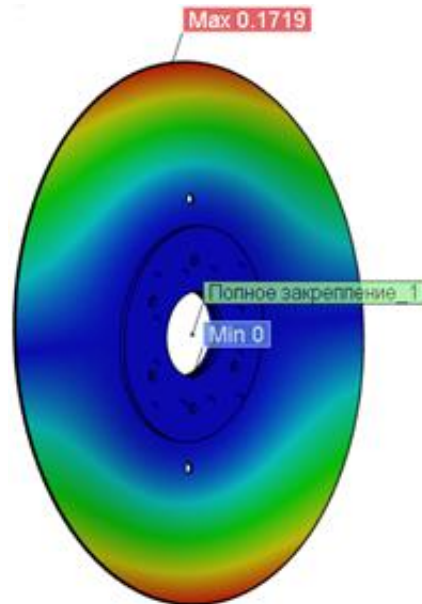


Рис. 3. Форма 2, собственная частота 23,0 Гц (0/1)

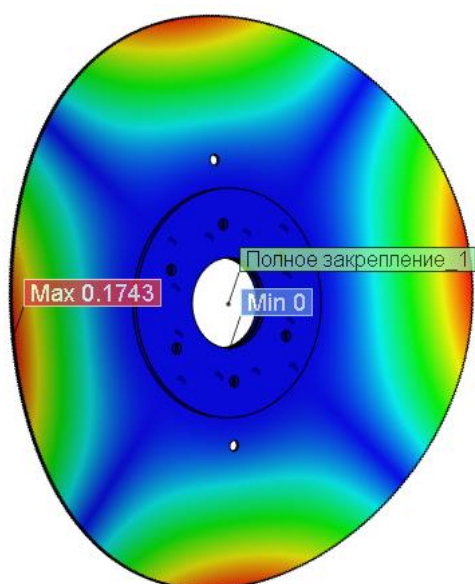


Рис. 4. Форма 4, собственная частота 26,5 Гц (0/2)

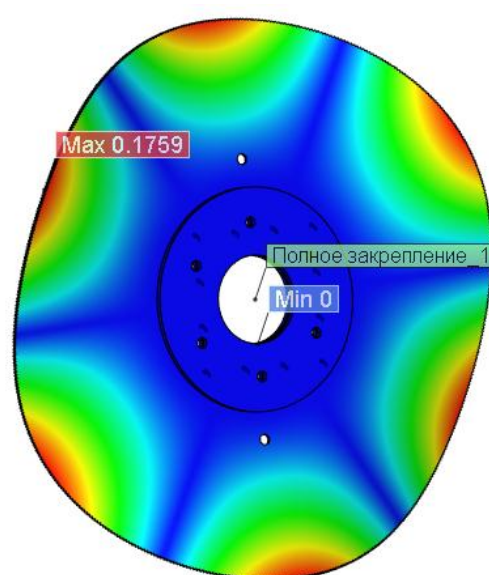


Рис. 5. Форма 6, собственная частота 38,1 Гц (0/3)

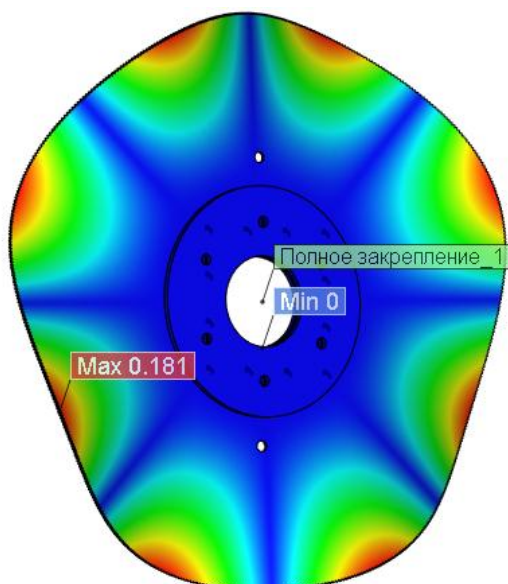


Рис. 6. Форма 8, собственная частота 58,6 Гц (0/4)

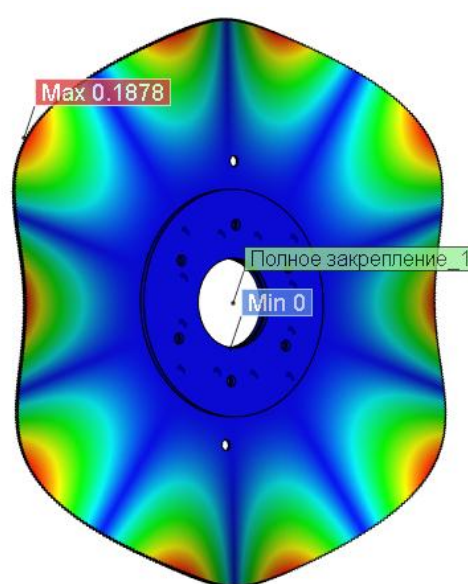


Рис. 7. Форма 10, собственная частота 86,4 Гц (0/5)

В таблице приведены результаты расчетов собственных частот колебаний диска пилы с разным шагом конечно-элементной сетки. Анализ расчетов показывает, что полученные

результаты незначительно отличаются друг от друга. Следовательно, можно сделать вывод о том, что полученные значения мало зависят от шага сетки и являются достоверными.

Полученные результаты расчетов собственных частот колебаний

Шаг сетки	Собственные частоты, Гц		Шаг сетки	Собственные частоты, Гц		Шаг сетки	Собственные частоты, Гц	
0,2	Форма 1	22,8	0,4	Форма 1	22,8	0,6	Форма 1	22,9
	Форма 2	23,0		Форма 2	23,1		Форма 2	23,0
	Форма 4	26,5		Форма 4	26,4		Форма 4	26,6
	Форма 6	38,1		Форма 6	38,2		Форма 6	38,0
	Форма 8	58,6		Форма 8	58,8		Форма 8	58,9
	Форма 10	86,6		Форма 10	86,9		Форма 10	86,5

На этапе проектирования использование систем конечно-элементного анализа позволит оценить будущие характеристики в процессе эксплуатации, что в свою очередь, повысит качество проектируемого изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов, А. В. Методика выбора числа оборотов круглых пил [Электронный ресурс] : Электронный архив – Режим доступа: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3825> (дата обращения: 25.12.2022).
2. Бабаков, И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М. : Наука, 1965. – 560 с.
3. T-FLEX Анализ [Электронный ресурс] : Разработчик и интегратор российского ПО для управления жизненным циклом изделий – Режим доступа: <https://www.tfex.ru/products/raschet/analiz/new/> (дата обращения: 25.12.2022).

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-21-23

О. А. Макарова, В. С. Блинов

РЕЗОНАНСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПИЛЬНОГО ДИСКА ПИЛЫ ПАКЕТНОГО РЕЗАНИЯ ПРИ РАБОТЕ НА ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: blad.blinov@mabil.ru

Рассмотрено явление возникновения резонанса при резании труб пилой пакетной резки, произведен расчет свободных и вынужденных колебаний пилы пакетной резки.

Ключевые слова: дисковая пила, резонансная частота, разрушение пилы, трещина на диске пилы, вынужденные колебания.

O. A. Makarova, V. S. Blinov

RESONANT DESTRUCTION OF THE SAW BLADE OF THE BATCH CUTTING SAW WHEN WORKING AT HIGH SPEEDS

Volgograd State Technical University

The phenomenon of the occurrence of resonance when cutting pipes with a batch saw is considered, the calculation of free and forced oscillations of a batch saw is made.

Keywords: Circular saw, resonant frequency, destruction of the saw, crack on the saw blade, forced fluctuations.

На сегодняшний день, трубное производство развивается и непрерывно совершенствуется, происходят качественные изменения в процессе производства. Сортамент труб по материалам и размерам непрерывно расширяется, возрастает потребность в получении труб со специально обработанными внутренними и наружными поверхностями. В связи с повышением производительности изготовления разнообразных видов труб появляется необходимость в увеличении скоростей резания при пакетной резке труб. Обработку на высоких скоростях можно получить, используя качественные дисковые пилы большого диаметра.

В данной статье пойдет речь об анализе проблемы разрушения диска пилы при резании труб салазковой пилой. Режимы резания на данной операции осуществляются при скоростях 120 м/с, дисковой пилой с количеством зубьев $z=400$, диаметром пилы 2000 мм, толщиной 10 мм, с частотой вращения $n_{\text{фр}}=19$ об/с.

В процессе обработки резанием была выявлена проблема появления трещин на диске пилы. Данный вопрос возникает вследствие возникновения вибраций и резонансных частот, способствующих увеличению деформации диска. На рис. 1–2 представлены фотографии трещин диска пилы.



Рис. 1. Трещина во впадине зуба дисковой пилы

Амплитуда вынужденных колебаний, вследствие наиболее полной передачи энергии от одной колебательной системы к другой существенно возрастает при возникновении явления резонанса. Резонанс – это явление возрастания амплитуды колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колебательной системы [1].

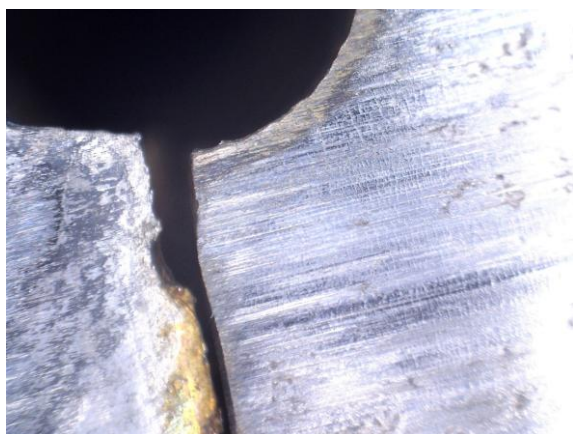


Рис. 2. Вид трещины в увеличенном масштабе

Дисковая пила имеет малую жесткость за счет большого диаметра и малой толщины. Во время работы дисковая пила испытывает вибрации вследствие собственной неуравновешенности масс и периодической ударной нагрузки на зубья.

Колебания диска пилы как упругого тела имеют бесчисленное множество собственных форм и частот [2]. Форма этих колебаний определяется числом узловых диаметров n и узловых окружностей m . Каждой форме собственных колебаний соответствует строго определенная частота колебаний [3].

Форма колебаний диска, полученные экспериментально, систематизированы по мере возрастания количества числа узловых диаметров n и узловых окружностей m .

Диск пилы пакетного резания с планшайбой жестко закреплен на конце двухопорного вала. Планшайба имеет размеры 0,4–0,5 от диаметра режущего инструмента. Она придает жесткость пильному диску.

Расчет собственных частот выполнен методом конечных элементов (МКЭ) в программном обеспечении «Т-FLEX Анализ», модулем динамического анализа. Анализ собственных частот позволяет осуществлять расчет собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний [4].

Конструкция, представляющая собой распределенную систему сложной геометрической формы, изображается в виде совокупности конечного количества относительно простых объектов правильной геометрической формы (конечных элементов, КЭ) [4].

Подготовка к расчету конечно-элементной модели, построенной по имеющимся геометрическим данным, является важной частью. Построение конечно-элементной сетки позволяет с необходимой точностью и надежностью аппроксимировать поведение моделируемого изделия. Помимо построения конечно-элементной сетки с помощью препроцессора задаются граничные условия, необходимые для решения физической задачи. К граничным условиям относятся: способ закрепления (ограничения на перемещение конструкции), задание материала, нагрузок и т. д. [4].

Результаты, полученные с применением программного модуля «Т-FLEX Анализ» записаны в табл. 1.

Таблица 1

Значения собственных колебаний диска f_n , c^{-1}

Число узловых диаметров n	Число узловых окружностей m	
	0	1
0	22,8	148,7
1	23	153,3
2	26,5	167,4
3	38,1	191,5
4	58,6	226,1
5	86,4	271,4
6	121,3	
7	161,6	
8	207,7	
9	259,3	

Вынужденные колебания – это колебания, которые происходят под действием внешней периодически меняющейся силы [5].

Вынужденные колебания, вызванные ударами при входе зубьев пилы в зону резания, имеют частоту f_z , определяемую по формуле 1:

$$f_z = n_{\text{фр}} \cdot z = 19 \cdot 400 = 7600, \quad (1)$$

Частота вынужденных колебаний будет также зависеть от всех целых чисел z_i , для которых число зубьев пилы 400 является кратным.

$$f_{z_i} = \frac{f_z}{z_i}, \quad (2)$$

где f_{zi} – частота вынужденных колебаний, для z_i зубьев; z_i – числа кратности, $z_i = 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20...$

Запишем результаты для всех z_i в табл. 2. Для рассчитанных по формуле (2) частот вынужденных колебаний подберем ближайшие собственные частоты из табл. 1.

Таблица 2

Значения собственных f_n и вынужденных f_{zi} частот колебаний

z_i	f_{zi}	f_n	f_{zi}/f_n
z_1	1	7600	271,4
z_2	2	3800	271,4
z_4	4	1900	271,4
z_5	5	1520	271,4
z_8	8	950	271,4
z_{10}	10	760	271,4
z_{16}	16	475	271,4
z_{20}	20	380	271,4
z_{25}	25	304	271,4
z_{40}	40	190	191,5
z_{50}	50	152	153,3
z_{80}	80	95	86,4
z_{100}	100	76	86,4
z_{200}	200	38	38,1
z_{400}	400	19	22,8

В табл. 2 жирным шрифтом выделены максимально близкие друг к другу значения ($0,7 < f_{zi}/f_n < 1,3$), при которых возможно возникновение явления резонанса. Наиболее опасны-

ми будут частоты вхождения $40^{-го}$, $80^{-го}$, $50^{-го}$, $200^{-го}$, $400^{-го}$ зуба пилы.

Для выхода из зоны резонанса ($0,7 < f_{zi}/f_n < 1,3$), необходимо что бы количество зубьев было меньше 332 или больше 448.

Из сказанного можно сделать вывод, что на начальном этапе проектирования дисковых пил высокоскоростного резания для исключения резонанса требуется производить расчет собственных и вынужденных частот режущего инструмента.

Изменение количества зубьев дисковой пилы исключает кратность и попадание в резонансную зону, что предотвращает явление резонанса.

Продление срока эксплуатации дисковой пилы без ухудшения ее технических характеристик возможно за счет управления частотой вращения пилы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Явление резонанса [Электронный ресурс] : Electro-scooterz.ru - Электрические штучки – Режим доступа: <https://electro-scooterz.ru/rezonans-opredelenie-avlenia-v-fizike-i-ispolzovania-v-tehnike/> (дата обращения: 04.01.2023).
2. Бабаков, И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М. : Наука, 1965. – 560 с.
3. Банников, А. И. Влияние резонанса на деформацию зубьев пил пакетной резки / А. И. Банников, О. А. Макарова, И. К. Шкурин, Д. Р. Зейналов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021.
4. T-FLEX Анализ [Электронный ресурс] : Разработчик и интегратор российского ПО для управления жизненным циклом изделий. – Режим доступа: <https://www.tfex.ru/products/raschet/analiz/new/> (дата обращения: 3.01.2023).
5. Вынужденные колебания [Электронный ресурс] : skysmart – Режим доступа: <https://skysmart.ru/articles/physics/vynuzhdennye-kolebaniya> (дата обращения: 06.01.2023).

УДК 621.753; 621.715.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-23-27

А. Т. Мамбаталиев^{1,2}, Ю. Л. Чигиринский¹

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКИ

¹Волгоградский государственный технический университет

²Волгоградский метизный завод

E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

Приведены результаты анализа особенностей конструкции и технологии изготовления пуансонов для холодной высадки. Работоспособность пуансонов холодновысадочных автоматов определяется геометрической точностью размеров, точностью формы, микрогеометрическими и физико-механическими характеристиками рабочих поверхностей. Показано, что преждевременная потеря работоспособности инструмента для холодной высадки связана, прежде всего, с нарушениями, допущенными на операциях термической обработки высадочного инструмента, что приводит к неоднородности физико-механических свойств по длине пуансона.

Ключевые слова: пробивной пуансон, холодная высадка, долговечность, критерий эффективности.

A. T. Mambataliev^{1,2}, Ju. L. Tchigirinsky¹

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE TOOL FOR COLD HEADING

¹ Volgograd State Technical University

² Volgograd hardware plant

The results of the analysis of design features and manufacturing technology of punches for cold heading are presented. The performance of punches of cold heading machines is determined by the geometric accuracy of dimensions, shape accuracy, microgeometric and physical and mechanical characteristics of the working surfaces. It is shown that the premature loss of working capacity of the tool for cold heading is associated primarily with violations made during the heat treatment of the heading tool, which leads to non-uniformity of the physical and mechanical properties along the length of the punch.

Keywords: punch, cold heading, durability, efficiency criterion.

Пробивные, вталкивающие и выталкивающие пуансоны оборудования для высадки гайки сами по себе являются достаточно уязвимым инструментом. Инструментальные стали, которые используются при производстве данных изделий, являются достаточно сложными сплавами из-за различных факторов, в особенности это касается условий термической обработки. На качество готового инструмента влияют конструктивные особенности, качество изготовления.



Рис. 1. Хрупкое разрушение

Скалывание представляет собой отделение крупной части инструмента. Причиной скалывания являются напряжения, которые превышают допустимые для материала данного инструмента. Так, определяющим фактором становятся условия резания, определяющие напряжения рабочей части пуансона. Важную роль в этом играет геометрия самого инструмента. Конструктивные недостатки или ошибки при проектировании могут послужить главной причиной хрупкого разрушения инструмента. На рис. 1 представлен пробивной пуансон станка тайваньского производства, излом которого произошел намного раньше теоретического срока службы, что говорит о явных ошибках в конструктиве изделия или некачественной термообработке.

Особое внимание стоит уделить погрешностям, вызванным настройкой инструмента. Для

Нередко на производстве сталкиваются с рядом проблем по износостойкости инструмента. В результате приложенной к инструменту нагрузки развиваются микротрещины. Со временем микротрещины постепенно перерастают в макротрещины, что становится причиной хрупкого разрушения (рис. 1). Хрупкое разрушение бывает двух видов: скалывание и выкрашивание. В вопросе износостойкости гаечных пуансонов особое внимание стоит уделить первому случаю.



Рис. 2. Деформация, вызванная повышенным содержанием остаточного аустенита в результате нарушения технологии термической обработки

того, чтобы обеспечить точность положения пуансона в системе координат, необходимо произвести размерную настройку инструмента.

Качество поверхности пуансонов также сильно сказывается на их эксплуатационных свойствах. Увеличение высоты микронеровностей сопровождается снижением опорной длины профиля и площади контакта сопрягаемых поверхностей, что приводит к повышению удельных нагрузок и, в конечном итоге, к ускоренному изнашиванию поверхностей из-за ухудшения условий смазки. Зачастую при инструментальном производстве предприятия просто не могут обеспечить необходимую шероховатость изделию ввиду отсутствия должного оборудования, что приводит к недостатку усталостной прочности в условиях постоянных нагрузок, и, как следствие, потере работоспособности этих пуансонов.

Еще один фактор, влияющий на качество инструмента – термическая обработка изделия. Важность термообработки заключается в том, что свойства материала изготовления становятся окончательными во время обработки и тем самым закрепляют свою долговечность.

На практике можно точно сказать, что выход из строя инструмента – совокупность как некачественных материалов или обработки, так и конструкторских ошибок на этапе создания или редактирования чертежей.



Рис. 3. Пуансон V позиции

На рис. 3 показан деформированный в результате погрешностей изготовления пуансон пятой позиции, предназначенный для выталкивания гайки из матрицы перед последующей пробивкой (рис. 4, в). Конструктив и способ выталкивания гайки-заготовки на этой позиции создали немало проблем, но потеря работоспособности данного пуансона, как это видно на изображении, не имеет к этому никакого отношения и связана исключительно с качеством термической

обработки. Сталь 6Х7В7ФМ, из которого инструмент изготовлен, поставляется в отожженном состоянии с твердостью не выше НВ 269 (около HRC 28), а твердость материала готового инструмента для данного сплава должна лежать в диапазоне 57...59 HRC, чему реальный инструмент не соответствует (40...50 HRC в зависимости от участка измерения), что говорит о несоблюдении условий термообработки и нарушениях технологического процесса.

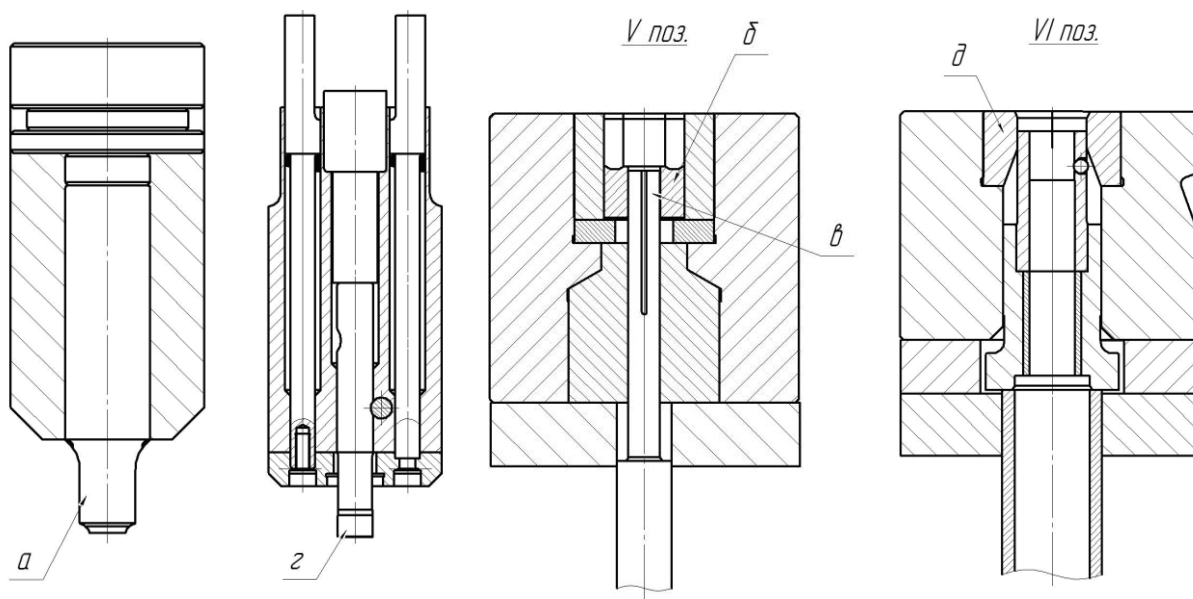


Рис. 4. Фрагмент наладки:

a – вталкивающий пуансон позиции; *б* – вставка матрицы V позиции; *в* – выталкивающий пуансон V позиции; *г* – пробивной пуансон; *д* – пробивная матрица

На рис. 4 приведен фрагмент наладки, описывающий пятую позицию, а также схема последующей пробивки. Пуансон вталкивающий (*a*) заталкивает заготовку гайки во вкладыш матрицы (*б*). Особенность данной позиции заключается в том, что на этом этапе образование

формы под пробивку производится не пуансоном, как это делается обычно, а именно вкладышем. Вкладыш имеет шайбообразную форму (рис. 5), образующую выемку под пробивку на гайке-заготовке, а выталкивающий пуансон, имеет плоский торец.

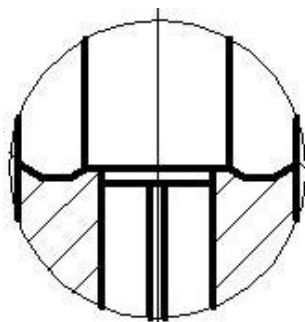


Рис. 5. Шайба вкладыша

На шестой позиции, как видно на рис. 4, в гайке-заготовке при помощи пробивного пуансона (z) и пробивной матрицы (d) при помощи ударного действия детали (z) образуется отверстие под резьбу. Именно на данном этапе и возникли проблемы, напрямую связанные как с качеством самого инструмента, так и рядом конструкторских ошибок. Шайба вкладыша, изображенная на рис. 4, выполняет функции выталкивающего пуансона по образованию выемки под последующую просечку. Уменьшение высоты шайбы (конструктивная ошибка) приводит к увеличению толщины перемычки и, как следствие, к возрастанию нагрузки на пуансон шестой позиции.



Рис. 6. Поврежденный пробивной пуансон VI позиции

Определенные виды операций, обработок и прочих работ с инструментом выполняются не на предприятии – производителе метизов, а, как правило, на специализированных производствах. Как правило, в инструментальных подразделениях метизного предприятия отсутствует оборудование, необходимое для обеспечения требуемого качества и точности изготовления пуансонов и нанесения покрытий. На рис. 6 изображен пробивной пуансон, вышедший из строя вследствие увеличенной при выполнении прошивки нагрузки. Финишные операции и нанесение PVD-покрытия выполнялись на специализированном предприятии.

Свойства покрытий [6]

Покрытие	Цвет	Нанотвердость, ГПа	Толщина, мкм	Коэффициент трения	Макс. температура применения, °С
TiN	Золотой	24	1-7	0,55	600
TiAlN односл.	Фиолет.-черный	35	1-4	0,5	800
TiAlN многосл.	Фиолет.-черный	28	1-4	0,6	700
TiCN-MP	Красно-медный	32	1-4	0,2	400
TiCN	Серо-голубой	37	1-4	0,2	400

Нанесение на пробивной инструмент PVD-покрытия – особо важное требование, которое обязательно должно соблюдаться. Сочетание твердосплавного материала пуансона и PVD-покрытия увеличивает износостойкость инструмента, обеспечивая, в частности, уменьшение адгезии рабочих поверхностей пробивного инструмента к материалу заготовки.

Рабочие поверхности преждевременно вышедшего из строя пробивного пуансона VI позиции (рис. 6) покрыты карбонитридом титана TiCN (таблицы). Следует отметить, что покрытие TiCN, несмотря на высокую нанотвердость и низкий коэффициент трения, не подходит для

применения на операциях пробивки, так как у данного покрытия максимальная температура применения составляет не более 400 °С. На рис. 6 явно видно, что покрытие на исследуемом пуансоне не выдержало температурных нагрузок. Рациональным вариантом в данной ситуации будет покрытие TiAlN, максимальная температура применения которого находится в диапазоне 700–800 °С, в зависимости от структуры (количества слоев) покрытия.

Из вышесказанного можно понять, что контроль качества требует особого внимания, и касается это как конструкторских решений и соблюдения технологических процессов на

предприятию, использующем инструмент, так и проверки качества исполнения заказов сторонним исполнителям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов, И. С.* Технология машиностроения : производство типовых деталей машин / И. С. Иванов. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 224 с.
2. Термическая обработка инструментов [электронный ресурс]: РИНКОМ – 2020 // Режим доступа: <https://www.rinscom.com/articles/termicheskaya-obrabotka-instrumentov/#anchor1>
3. Преимущества и недостатки вакуумных печей [электронный ресурс]: HEATTREATMENT – А. Петров – 2016 // Режим доступа: <https://heattreatment.ru/preimushchestva-i-nedostatki-vakuumnyh-pechej.html#>
4. *Иванов, В. Н.* Словарь-справочник по литейному производству / В. Н. Иванов. – М. : Машиностроение, 1990. – 384 с.
5. *Ржевская, С. В.* Материаловедение / С. В. Ржевская. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 456 с.
6. *Локтев, Д.* Основные виды износостойких покрытий / Д. Локтев, Е. Ямашкин // Наноиндустрия. – Москва : АО «Рекламно-издательский центр "Техносфера"», 2007. – 24–31 с.

УДК 621.19

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-27-30

Д. А. Маслов, В. Е. Овсянников, Г. Н. Шпитко

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

ФГБОУ ВО Курганский государственный университет

E-mail: shpitko@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы разработки модели для оценки износа режущего инструмента на основе использования методов искусственного интеллекта: нейронных сетей и нечеткой логики. Исходные данные для построения модели получены в результате проведения стойкостных испытаний инструмента при токарной обработке. В качестве режущих инструментов были использованы резцы с механическим креплением пластин. Обработка производилась на токарном станке с числовым программным управлением марки DMG-310. Стойкость оценивалась по параметрам геометрического износа (фаски износа по задней поверхности) и шероховатости обработанных поверхностей. Измерение фаски износа по задней поверхности производилось на инструментальном микроскопе с возможностью подключения к персональному компьютеру. Полученные результаты испытаний использованы в качестве исходных данных для обучения нейро-нечеткой модели. В качестве архитектуры для нейронной сети использованы сети с обратным распространением ошибки. Исследования точности модели на тестовой выборке показали хорошую сходимость результатов. Разработанная модель может быть интегрирована в CRM систему для интеллектуального мониторинга состояния режущего инструмента, что в свою очередь позволяет обеспечивать заданные требования к точности и качеству обработки.

Ключевые слова: стойкость, фаска износа, модель, оценка, нечеткая логика, искусственный интеллект.

D. A. Maslov, V. E. Ovsyannikov, G. N. Shpitko

MODEL FOR ASSESSING THE WEAR OF A CUTTING TOOL BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Kurgan State University

The article discusses the issues of developing a model for assessing the wear of a cutting tool based on the use of artificial intelligence methods: neural networks and fuzzy logic. The initial data for the construction of the model were obtained as a result of the durability tests of the tool during turning. Cutters with mechanical fastening of plates were used as cutting tools. The processing was carried out on a numerical control lathe of the DMG-310 brand. Durability was assessed by the parameters of geometric wear (chamfer wear on the back surface) and roughness of the treated surfaces. The wear chamfer on the back surface was measured using an instrumental microscope with the possibility of connecting to a personal computer. The obtained test results were used as initial data for training a neuro-fuzzy model. Networks with reverse error propagation are used as the architecture for the neural network. Studies of the accuracy of the model on the test sample showed good convergence of the results. The developed model can be integrated into a CRM system for intelligent monitoring of the state of the cutting tool, which in turn allows you to meet the specified requirements for accuracy and quality of processing.

Keywords: durability, wear chamfer, model, estimation, fuzzy logic, artificial intelligence.

Введение

Существенным фактором, оказывающим непосредственное влияние на качество и точность механической обработки является состояние режущего инструмента, которое характеризуется износом.

Причем учитывая, что современное производство характеризуется все большим внедрением в промышленную практику оборудования с числовым программным управлением остро стоит вопрос о реализации мониторинга состояния режущего инструмента. Данной тематике посвящены работы [1–3]. Например,

в работе [3] отмечается, что реализация системы мониторинга состояния режущего инструмента осложняется тем, что при оценке стойкости наблюдается высокая степень неопределенности исходных данных, потому граница зон износа является нечеткой [3]. Среди основных недостатков использованного в работе [3] подхода можно выделить, что там не учитывалось качество обработанной поверхности. На рис. 1 приведены нечеткие границы стойкости инструмента по фаске износа (рис. 1, а) и шероховатости (рис. 1, б).

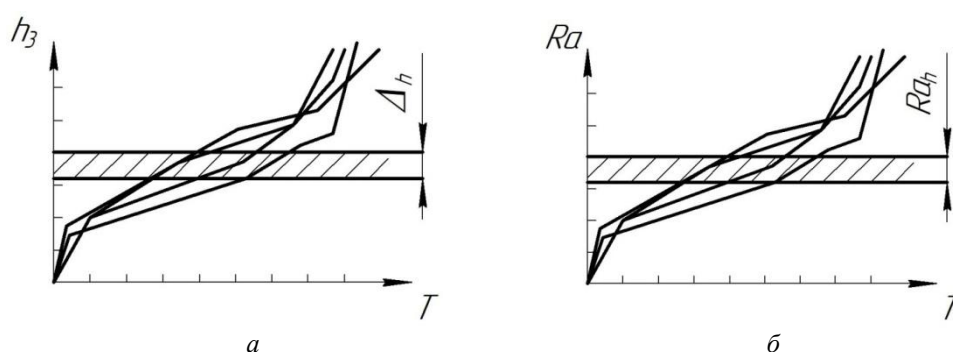


Рис. 1. Нечеткая граница стойкости инструмента

Решение задач с неопределенностью исходных данных целесообразно выполнять на основе использования методов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей [4; 5]. Данный методологический аппарат позволяет учесть индивидуальные характеристики станка, инструмента и заготовки, сформировать обучающую выборку и настроить базу знаний модели под конкретные условия.

Цель работы: разработка модели оценки стойкости инструмента, с возможностью учета качества обработанной поверхности в условиях неопределенности исходных данных.

Материалы и методы исследования: Для проведения испытаний исследуемого инструмента при обработке сталей 20Х13, 30Х10, и 12Х18Н10Т заготовки были предоставлены заказчиком.

Непосредственно перед началом испытаний прутковые заготовки были нарезаны на штучные, предварительно обработаны черновым точением, также были подготовлены центровые отверстия для возможности установки в трехкулачковом патроне с поджимом задним вращающимся центром. Обработка производилась на станке с ЧПУ DMG-310.

В соответствии с планом испытаний, проводилась обработка заготовки на рекомендованных режимах резания, которые указаны в табл. 1. С определенной периодичностью, предусмотренной планом испытаний, проводились измерения шероховатости поверхности (R_a , мкм) и величины фаски износа по задней поверхности исследуемого инструмента. Параметры заготовок также указаны в табл. 1.

Таблица 1

Параметры заготовок и режимы резания

Обрабатываемый материал	Размеры заготовок DxL (мм)	Количество (шт)	Глубина резания t (мм)	Скорость резания V* (м/мин)	Подача S (мм/об)
20Х13	35x190	6	0,8	100	0,1
30Х13	35x220	2	0,8	100	0,1
12Х18Н10Т	35x215	4	0,8	100	0,1

* – обработка с постоянной скоростью резания.

Для измерения шероховатости поверхности использовался прибор Mitutoyo SJ210R.

Для измерения величины фаски износа ре-

жущая пластина снималась с державки резца, измерения проводились на приборе ELBO Controlli HATHOR (рис. 2).

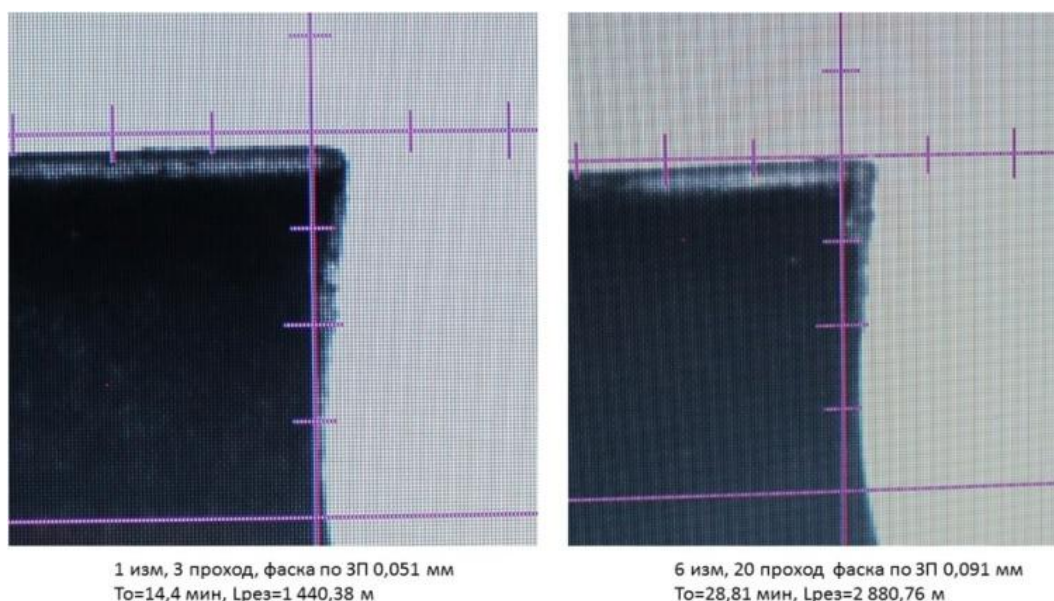


Рис. 2. Измерение фаски износа

В качестве архитектуры нейронных сетей были выбраны сети с обратным распространением ошибки [5]. В логическом блоке модели использованы функции при-

надлежности треугольного вида [4].

Результаты исследований и их обсуждение.

В табл. 2 приведен фрагмент результатов испытаний при обработке стали 20X13.

Таблица 2

Пример результатов испытаний при обработке стали 20X13

№	То (мин)	Лрез (м)	h _з (мм)	Ra (мкм)	Примечания
1	5,24	524,47	0,051	0,45	—
2	9,70	969,78	0,062	0,56	—
3	14,40	1440,38	0,063	0,67	—
4	19,65	1964,85	0,069	0,71	—
5	24,10	2410,16	0,086	0,72	Изменение звука при обработке
6	28,81	2880,76	0,091	0,79	Усиление звука, появление легкого свиста
7	34,05	3405,23	0,091	0,86	—
8	38,51	3850,54	0,124	0,97	—
...					

Пример уравнений регрессии по методу наименьших квадратов имеют вид:

$h_3 = 0.00165 \cdot T_0 + 26.909$, ошибка аппроксимации $\bar{A} = 5.9\%$

$Ra = 0.0115 \cdot T_0 + 0.488$, ошибка аппроксимации $\bar{A} = 6.53\%$

В результате обучения модели $h_3 = f(T_0)$ на данных выборки установлено, что средняя ошиб-

ка обучения модели не превышает 0.0068988. Аналогичным образом производилось обучение нейронной сети и для модели вида $Ra = f(T_0)$.

Для проверки состоятельности выдвинутых ранее были использованы тестовые выборки, которые получены в других сериях экспериментов. Пример тестирования нейро-нечеткой модели приведен на рис. 3.

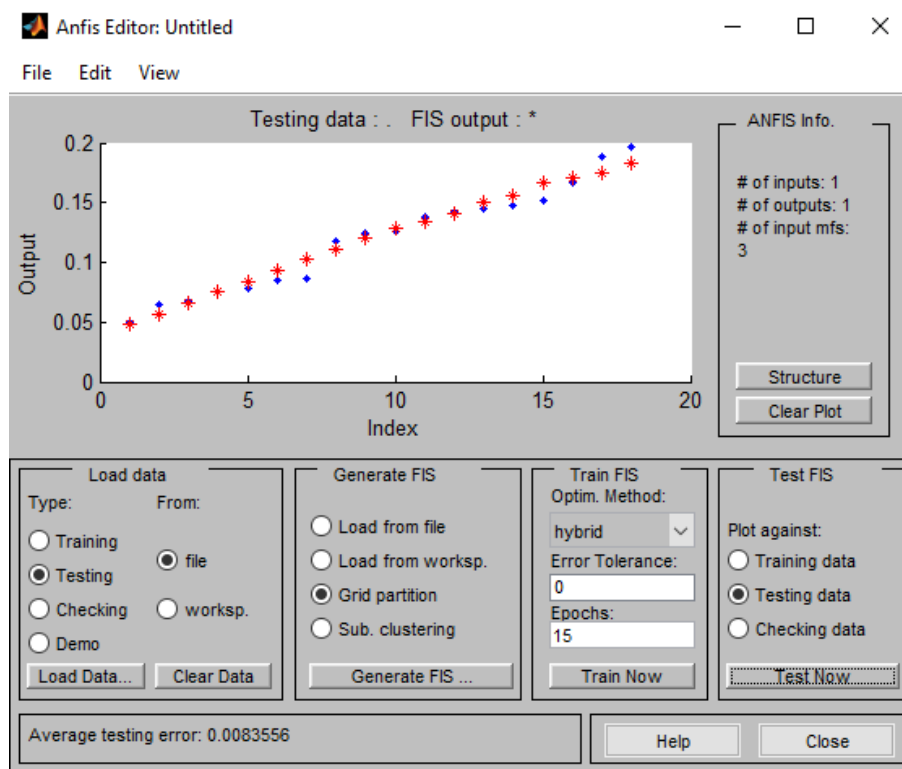


Рис. 3. Пример тестирования модели

Выводы:

1. В результате обработки данных, полученных на тестовых выборках было установлено, что погрешность, которую дают модели, порученные по методу наименьших квадратов в среднем составляют 20–35 %, а модели, построенные на нейронных сетях и нечеткой логике – 3–10 %.

2. Достоинством моделей на нейронных сетях и нечеткой логике является то, что они могут быть поднастроены в зависимости от накопленной исходной информации.

3. Дальнейшим развитием рассмотренного в данной работе подхода является создание системы мониторинга технологических процессов, обеспечивающей информационные связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заковоротный, В. Л. Системный синергетический синтез управления динамикой металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В. Л. Заковоротный [и др.]. – Ростов-на-Дону : Изд. центр Дон. гос. техн. ун-та, 2008. – 324 с.
2. Бржозовский, Б. М. Стабилизация динамического состояния станка как основа решения задач повышения точности механической обработки деталей / Б. М. Бржозовский, М. Б. Бровкова, В. В. Мартынов, И. Н. Янкин // Вестник СГТУ (Надежность машин). – 2006. – № 3(14). – С. 61–70.
3. Тугенгольд, А. К. Принципы концептуального подхода к созданию подсистемы «ИНСТРУМЕНТ» в Смарт-паспорте многооперационного станка / А. К. Тугенгольд, А. И. Изюмов // Вестник ДГТУ. – № 2. – 2014. – С. 33–41.
4. Симонов, А. М. Основы обеспечения качества поверхности деталей машин с использованием динамического мониторинга : монография / А. М. Симонов, А. К. Остапчук, В. Е. Овсянников. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 118 с.
5. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия–Телеком, 2018. – 284 с.: ил.

УДК 621.9.048.7, 621.9.047/048
DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-31-33

Г. К. Мулдашева, И. В. Злобина, Н. В. Бекренев

**ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СВЕРЛЕНИЯ
ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В ДЕТАЛЯХ
ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

E-mail: nikolaj.bekrenev@yandex.ru

В статье изложены результаты экспериментальных исследований сверления отверстий малого диаметра в труднообрабатываемых высокопрочных материалах в сравнении со сталью 45 при использовании различных схем подведения ультразвука к инструменту. Установлено, что наибольший эффект при сверлении достигается при корректировке углов заточки с учетом изменения кинематических углов в условиях ультразвуковых колебаний.

Ключевые слова: труднообрабатываемые материалы, отверстия малого диаметра, ультразвук, сверление.

G. K. Muldasheva, I. V. Zlobina, N. V. Bekrenev

**INVESTIGATION OF ULTRASONIC DRILLING OF SMALL DIAMETER HOLES
IN PARTS MADE OF HARD-TO-PROCESS MATERIALS**

Yuri Gagarin Saratov State Technical University

The article presents the results of experimental studies of drilling small-diameter holes in hard-to-process high-strength materials in comparison with 45 steel using various ultrasound circuits to the instrument. It is established that the greatest effect during drilling is achieved by adjusting the sharpening angles, taking into account changes in kinematic angles under conditions of ultrasonic vibrations.

Keywords: hard-to-process materials, small diameter holes, ultrasound, drilling.

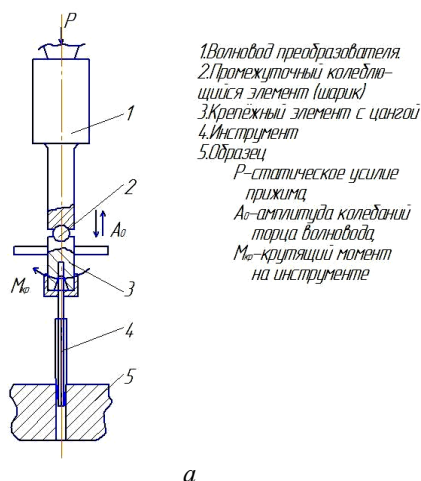
Сообщение инструменту ультразвуковых колебаний при резании высокопрочных сплавов и легированных сталей до настоящего времени остается одним из эффективных методов повышения производительности и качества обработки отверстий в деталях перспективных изделий машино- агрегато- и приборостроения [1–5]. В тоже время существуют проблемы сверления отверстий малого диаметра, связанные в первую очередь с особенностями геометрии мелкоразмерных инструментов. Мелкоразмерные сверла имеют относительно большую толщину сердцевины и размер перемычки по сравнению со сверлами больших диаметров. Малые диаметры затрудняют подточку перемычки или делают это практически невозможным. Вследствие указанных причин осевая сила при обработке мелкоразмерными сверлами относительно выше, чем при сверлении инструментами больших диаметров. Это вызывает повышенные деформации сверла в поперечном направлении, изгиб и увод относительно заданной оси. С целью снижения указанного отрицательного эффекта обработку таким инструментом ведут при пониженных осевых подачах, что снижает производительность.

В ОАО НИТИ-Тесар (г. Саратов) в 1970–1980-х годах испытывалась и показала положительные результаты при резбонарезании схема подведения ультразвука от подвижного преобразователя через промежуточный колебательный элемент. Эта схема реализована в резбонарезном станке СРС-901 [5]. Также данная схема оказалась весьма эффективной при калибровке точных отверстий в деталях из материалов, имеющих малую и среднюю твердость [6].

Целью работы явилось изучение эффективности сообщения ультразвуковых колебаний через промежуточный элемент сверлам малых диаметров: 1,5–4,0 мм.

Проведены исследования двух возможных схем повышения эффективности ультразвуковой обработки отверстий малого диаметра: с закреплением инструмента в легкой оснастке с сообщением последней колебаний от преобразователя через промежуточный элемент – шарик (схема 1, рис. 1, а) и с закреплением инструмента в оснастке с байонетным креплением на преобразователе, обеспечивающей автоматическое увеличение амплитуды колебаний инструмента пропорционально возрастанию сопротивления резанию (схема 2, рис. 1, б).

1. Испытание схемы возбуждения колебаний через промежуточный колеблющийся элемент.



2. Испытание схемы подведения колебаний к инструменту с автоматическим регулированием акустического режима.

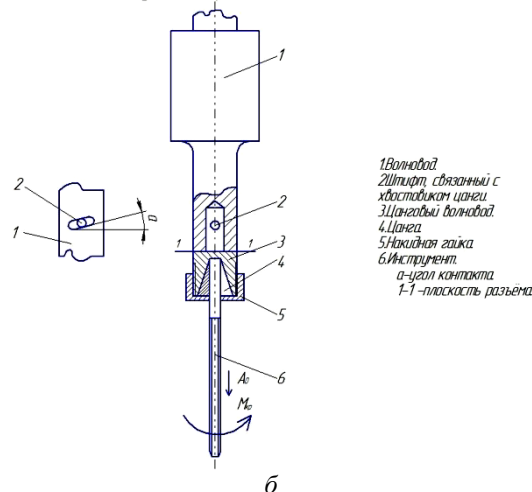


Рис. 1. Схемы сообщения ультразвуковых колебаний концевому инструменту: а — через промежуточное свободное тело; б — с креплением через байонет, обеспечивающий увеличение амплитуды колебаний при возрастании момента

Основным критерием эффективности воздействия ультразвука при сверлении приняты величина крутящего момента ($M_{кр}$) и стойкость сверл (Т). Вспомогательный критерий — качество обработанной поверхности. Эксперименты проводили на сверлах стандартной геометрии, при необходимости по результатам экспериментов заточку изменяли. Обработку отверстий осуществляли на ультразвуковом сверлильно-резьбонарезном станке СУРН-901, разработки ОАО НИТИ-Тесар (г. Саратов). Станок СУРН-901 был модернизирован путем замены транзисторного генератора УЗУ-025М (18 кГц, 250 Вт) на генератор, разработанный на кафедре «Системотехника и управление в технических системах» СГТУ имени Гагарина Ю.А., с малыми габаритными размерами (150x150 x100 мм) и весом (250 г) мощностью до 100 Вт. Частота выходного напряжения регулируется в диапазоне 22,0–22,5 кГц. Силы и моменты резания измеряли при помощи тензометрического прибора УДМ-100. Амплитуду колебаний инструмента определяли микаторной головкой с ценой деления 1,0 мкм. Величина амплитуды составляла 5–10 мкм. Подача обеспечивалась нагружением пиноли станка тарированным грузом. Использовали спиральные сверла Ø 4 мм из стали Р9 с параметрами, соответствующими стандартной заточке: $\phi=120^\circ$; $\alpha=17^\circ$; $\gamma=15^\circ$. Обрабатывали материалы: Д1Т, Л62, 12Х18Н10Т, сталь 45. Эксперимент повторяли при одних

и тех же условиях 5 раз. В ходе экспериментов было установлено отсутствие эффекта по снижению момента резания во всем диапазоне амплитуд колебаний при использовании как схемы 1, так и схемы 2. На стали 12Х18Н10Т даже наблюдалось повышение момента. При этом отмечалось некоторое снижение стойкости сверла при использовании схемы 1 и повышение стойкости до 45 % при использовании схемы 2. Время сверления отверстий при сообщении сверлу ультразвуковых колебаний снижалось в среднем до 50 %. Возможная причина отрицательного результата по снижению момента резания заключается в следующем. Сверло является инструментом с большим углом ϕ заборного конуса, поэтому суммирование скорости резания V_p и колебательной скорости V_k приводит к перемещению режущего клина в направлении, при котором задний угол α принимает отрицательную величину. Поэтому имеет место затираание сверла по задней поверхности. В ходе экспериментов с переточенными сверлами (задний угол — 20° , 30° , 40° , 50°), установлено, что увеличение заднего угла сверла вызывает стабильное снижение момента резания, при этом наилучшие результаты обеспечиваются при $\alpha = 40^\circ$ – 50° (рис. 2). Снижение момента резания составило соответственно для сплавов Д16Т и Л62 45 % и 74 %, для сталей 12Х18Н10Т и 45 — 73 % и 70 %.

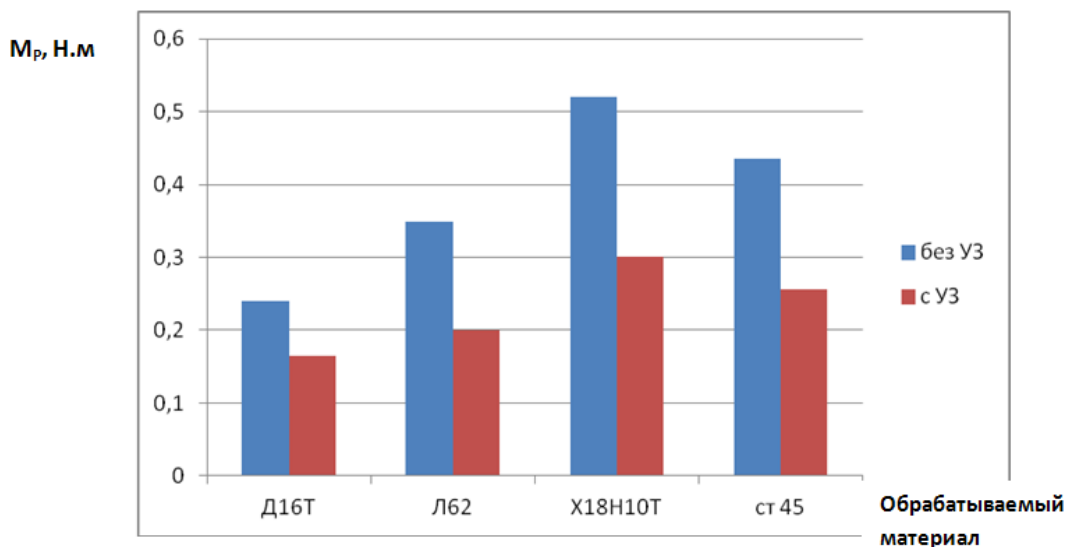


Рис. 2. Влияние ультразвука на момент резания при сверлении конструкционных материалов сверлами $\varnothing 4$ мм, $\varphi=120^\circ$; $\alpha=40^\circ$; $\gamma=15^\circ$

Однако, при увеличении заднего угла более 40° наблюдается снижение стойкости главных режущих кромок, а при обработке высокопрочных материалов типа 12Х18Н10Т даже их поломка вследствие малой толщины. Поэтому для ультразвукового сверления можно рекомендовать выполнять переточку сверл по задней поверхности до угла $\alpha \approx 40^\circ$. Наибольший эффект по снижению момента резания наблюдается при использовании сверл длиной 60–120 мм. Для сверл меньшей длины эффект менее выражен. Это может быть связано со стабилизацией амплитуды при длине сверла, кратной четверти длины волны колебаний для используемой в эксперименте частоты.

Таким образом, схема подведения ультразвуковых колебаний к инструменту при помощи байонетного крепления обеспечивает устойчивое значимое снижение момента резания при сверлении отверстий малых диаметров при условии их переточки по задней поверхности до угла $\alpha \approx 40^\circ$. Использование промежуточного элемента типа шарика нецелесообразно. Для повышения эффективности

ультразвукового сверления отверстий диаметром менее 4 мм представляет интерес исследовать влияние ультразвука на процесс врезания и продольную устойчивость инструмента длиной 60 и более мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марков, А. И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов / А. И. Марков. – М. : Машиностроение, 1968. – 367 с.
2. Кумабэ, Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
3. Марков, А. И. Ультразвуковая интенсификация процессов сверления глубоких отверстий в труднообрабатываемых материалах / А. И. Марков, Н. В. Бекренев, Е. И. Ивкин // СТИН. – № 12, 1996.
4. Агапов, С. И. Интенсификация процесса обработки труднообрабатываемых материалов при введении ультразвуковых колебаний в зону резания : монография / С. И. Агапов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 78 с.
5. Бржозовский, Б. М. Ультразвуковые технологические процессы и оборудование в машино- и приборостроении : учеб. пособие / Б. М. Бржозовский, Н. В. Бекренев. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. – 348 с.
6. Серебряков, В. М. Устройство для обработки точных отверстий с наложением ультразвуковых колебаний. – патент РФ 2382692, МПК В23Д 37/00, опубл. 27.02.2010.

УДК 681.787.4

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-34-36

*С. Н. Ольштынский, Ю. И. Сидякин***ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИНЕРЦИОННОГО РАСКАТНИКА
ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ
ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: techmach@vstu.ru

Рассматриваются вопросы процесса обработки отверстий инструментом инерционного типа путем воздействия индентора в форме ролика, установленного посредством промежуточных катков в корпусе инструмента на обрабатываемую поверхность.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, раскатник, индентор, усилие деформирования.

*S. N. Olshtynsky, Yu. I. Sidiyakin***FEATURES OF THE OPERATION OF THE INERTIAL ROLLER WHEN
PROCESSING HOLES WITH A SURFACE PLASTIC DEFORMATION****Volgograd State Technical University**

The issues of the process of processing holes with an inertial type tool by the action of an indenter in the form of a roller installed by means of intermediate rollers in the tool body on the surface to be processed are considered.

Keywords: surface plastic deformation, rolling tool, indenter, deformation force.

Для обработки отверстий поверхностным пластическим деформированием (ППД) в настоящее время применяют два типа инструмента: сепараторного типа и с установкой роликов на опоры качения. При обработке в сепараторном инструменте деформирующие ролики взаимодействуют с опорным конусом, через который им передается усилие деформирования. Сами деформирующие ролики расположены в гнездах сепаратора равномерно по окружности обрабатываемой поверхности. За счет малой площади контакта между роликами и опорным конусом возникают значительные по величине напряжения, которые приводят к быстрому выходу из строя, как деформирующих роликов, так и опорного конуса. Для настройки роликов на диаметральный размер их перемещают вдоль опорного конуса, настройка должна быть точной, так как глубина внедрения роликов в обрабатываемую поверхность равна примерно 0,05...0,08 мм, что соизмеримо с допуском на размер обрабатываемой детали. В связи с тем, что действительный размер в партии деталей меняется в пределах допуска, а величина настройки неизменна, то это приводит к значительным изменениям усилия деформирования и, следовательно, нестабильности качества обработки [1].

При установке роликов на опоры качения усложняется конструкция инструмента и неизбежно увеличивается диаметр роликов, так как подшипники расположены внутри роликов. Пропорционально увеличивается площадь контакта между роликами и обрабатываемой поверхностью, что в свою очередь требует большего потребного усилия деформирования.

Для повышения долговечности наиболее нагруженных деталей раскатного инструмента направлены многие теоретические исследования и конструкторские решения, которые в основном сводятся к обоснованию режимов обработки, изменению конструктивных и геометрических параметров. Другой особенностью ротационных инструментов для обработки отверстий является необходимость точной настройки роликов на заданный размер. Отмеченные недостатки можно устранить применением инерционных инструментов, работающих по принципу центробежного действия, особенностью которых является то, что усилие деформирования создается центробежными силами, действующими на деформирующие инденторы – ролики.

Для реализаций указанного метода необходимо обеспечить достаточную для раскатывания центробежную силу. Теоретически любую

$$D_p = \frac{R_o^2 + r_m - 2 \cdot R_o \cdot r_m \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) - r_k^2}{R_o + r_k - r_m \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \quad (6)$$

Радиусы окружностей, описываемые центрами катков и деформирующих роликов:

$$r_m = R_o - r_k - \delta; r_o = R_o - r_p \quad (7)$$

На схеме, представленной на рис. 1 показаны силы, приложенные к ролику и каткам в процессе обработки. Очевидно, что усилие раскатывания равно:

$$P_y = 2 \cdot P_k \cdot \cos \beta = 2 \cdot P_k \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{r_k + a}{r_p + r_k} \right) \right]. \quad (8)$$

Полное усилие, развиваемое инструментом будет складываться из усилия, действующего на ролики со стороны катков и центробежной силы, действующей на сам ролик.

$$P_y = \frac{P_{kn} \cdot \cos \left(\arcsin \frac{r_k + a}{r_p + r_k} \right)}{\sin \left[\arcsin \frac{r_k + r_p}{r_o \cdot \sin \left(\frac{\psi}{2} \right)} \right]} + P_{yp}. \quad (9)$$

При исследовании геометрических параметров контактной зоны уравнение контурной линии контакта по его длине для роликов определялось по формуле

$$z_k = \sqrt{R^2 - \left[\frac{(R \pm r_p) \cdot (R \mp h_k)}{R \pm (r_p \mp h_k)} \right]^2}. \quad (10)$$

Площадь контакта определялась как интеграл от полуширины контакта, а усилие деформирования по формуле,

$$P_{yp} = \int_0^{l_k} \int_0^{z_{kv}} \sigma_m \cdot f(l) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{z}{z_{kv}} \right)^2} dz dl_k, \quad (11)$$

где $f(l)$ – функция влияния, зависящая от типа ролика и формы контактной зоны.

Исходя из необходимого усилия деформирования и геометрических соотношений был спроектирован и изготовлен инструмент раскатник [3]. Принципиальная схема инструмента изображена на рис. 2

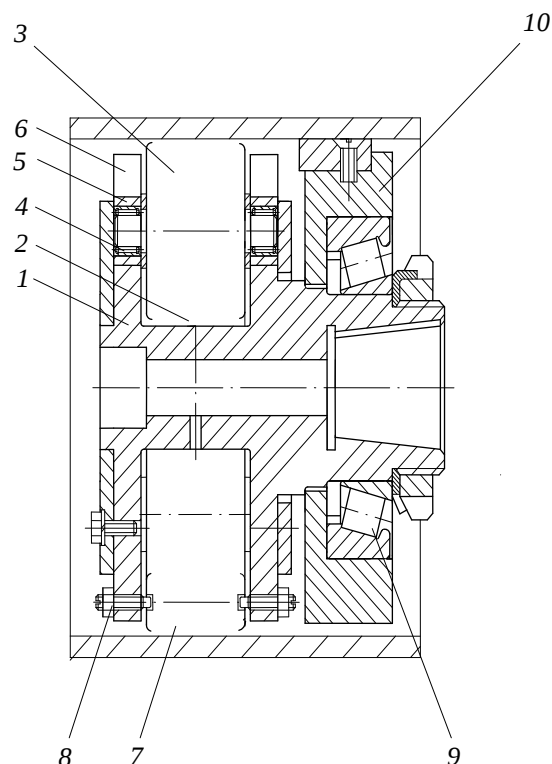


Рис. 2. Раскатник инерционного типа

Основными элементами раскатника являются: 1 – корпус; 2 – внутренняя полость; 3 – опорные катки; 4 – подшипник катка; 5 – ползун; 6 – радиальный паз; 7 – деформирующий индентор ролика; 8 – шпилька; 9 – подшипник базисного устройства; 10 – обойма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шнейдер, Ю. Г. Технология финишной обработки давлением : справочник / Ю. Г. Шнейдер. – СПб. : Политехника, 1998. – 414 с.
2. Повышение качества обработки поверхностным пластическим деформированием при использовании инструмента жесткого и упругого действия / Я. Н. Отений, Н. Я. Смольников, Н. В. Ольштынский, С. Н. Ольштынский // Упрочняющие технологии и покрытия : науч.-техн. и производств. журнал. – 2005. – № 12. – С. 11–13.
3. Инструмент для обработки тел вращения методом пластического деформирования: Пат. 2219041 РФ, МКИ 7 В 24 30/02/ Н. Я. Смольников, Я. Н. Отений, Н. В. Ольштынский, С. Н. Ольштынский ; ВолгГТУ. – 2003.

УДК 621.787.4

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-37-40

*Ю. И. Сидякин, С. И. Агапов, С. Ю. Абакумова, Е. С. Волкова, В. С. Крутевич***ПОВЫШЕНИЕ ИЗГИБНОЙ ПРОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: techmash@vstu.ru

На основе анализа типовых повреждений зубчатых колес общего машиностроительного применения рассмотрены возможности использования упрочняющих технологий, основанных на ППД, для повышения изгибной прочности высоконагруженных зубчатых передач. Установлено, что за счет ППД обкаткой торoidalными и винтовыми роликами впадин цилиндрических и конических зубчатых колес, изготовленных из термически улучшенных и нормализованных сталей, можно повысить изгибную выносливость зубьев в среднем на 20–35 %.

Ключевые слова: зубчатое колесо, упругопластическая контактная деформация, изгибная прочность, индентор, твердость.

*Yu. I. Sidiyakin, S. I. Agapov, S. Yu. Abakumova, E. S. Volkova, V. S. Krutevich***INCREASING THE FLEXURAL STRENGTH OF GEARS
BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION****Volgograd State Technical University**

The possibilities of using hardening technologies based on SPD to increase the bending strength of heavily loaded gears are considered. It is based on the analysis of typical damages of gears of general engineering application. It has been defined that it is possible to increase the bending endurance of the teeth by an average of 20–35 % due to the SPD by running in the cavities of cylindrical and bevel gears made of thermally improved and normalized steels with toroidal and helical rollers.

Keywords: gear wheel, elastoplastic contact deformation, bending strength, indenter, hardness.

В большинстве трансмиссий современного транспортного машиностроения, а также стационарного станочного оборудования широко используются зубчатые передачи цилиндрическими и коническими колесами различных типов. Одним из важнейших критериев надежности и работоспособности этих передач является прочность, которую принято оценивать уровнем контактных напряжений на рабочих поверхностях зубьев и сопротивлением зубьев усталостному разрушению при изгибе. Поэтому основными причинами выхода из строя большинства зубчатых колес и, как следствие, трансмиссий машин в целом является усталость металла из-за непостоянства циклических нагрузок, воспринимаемых зубьями колес, и их поломка при кратковременных перегрузках. Имеют место также и необратимые изменения формы профиля зубьев и их геометрических размеров по причине интенсивного изнашивания и образования питтинга, т.е. усталостно-контактных повреждений рабочих поверхностей при длительной эксплуатации [1; 2].

Как известно, контактная прочность зубьев может обеспечиваться, в основном, высокой

твердостью и качеством рабочих поверхностей, что достигается соответствующим подбором материалов зубчатых пар и термической или химико-термической обработками с последующим шлифованием [2]. Повышенная изгибная прочность необходима зубьям открытых передач, которые эксплуатируются, большей частью, в абразивной воздушной среде при недостаточной смазке, а также коническим и цилиндрическим колесам силовых трансмиссий большегрузных автосамосвалов и промышленных тракторов, в приводах рольгангов и дробилок, в редукторах экскаваторов и подъемных машин и пр., где усталостная поломка зубьев традиционно считается одной из основных причин преждевременного выхода их из строя.

Практика эксплуатации зубчатых передач показывает, что усталостные трещины зарождаются и развиваются преимущественно в прикорневой зоне зубьев. Эта область является концентратором напряжений из-за резкого изменения рабочего сечения и наличия грубой шероховатости и зазоров на галтелях впадин от механической обработки после процессов зубонарезания. С этой точки зрения зубья кони-

ческих колес в еще большей степени уязвимы не только в связи с известными геометрическими и кинематическими особенностями зацепления и монтажа передачи, но и более выраженной неравномерностью распределения нагрузки по длине зубьев, а также нерегулярной формой переходной кривой впадин и невысоким качеством их обработки.

В качестве примера на рис. 1 приведены некоторые слегка упрощенные формы профилей прикорневых участков ножек зубьев цилиндрических и конических колес, получаемые в процессах зубообработки с использованием стандартного зуборезного инструмента и традиционного станочного оборудования, а на рис. 2 показаны основные (типичные) виды их разрушений.

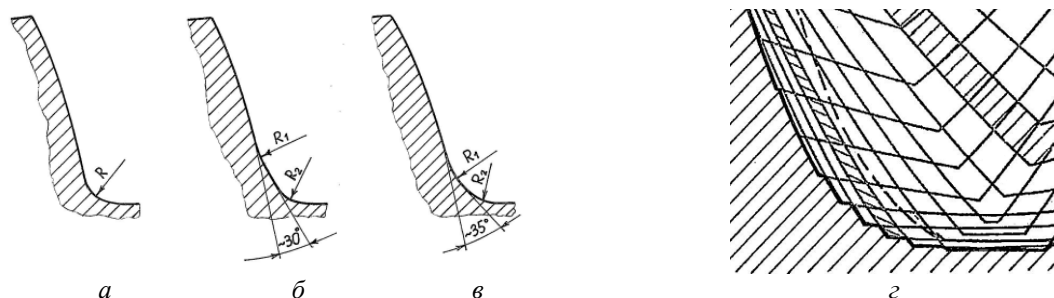


Рис. 1. Типичные формы прикорневых участков зубьев колес после операций:
а и з – зубофрезерование и зубодолбление цилиндрических колес; б и в – зубострогание конических колес

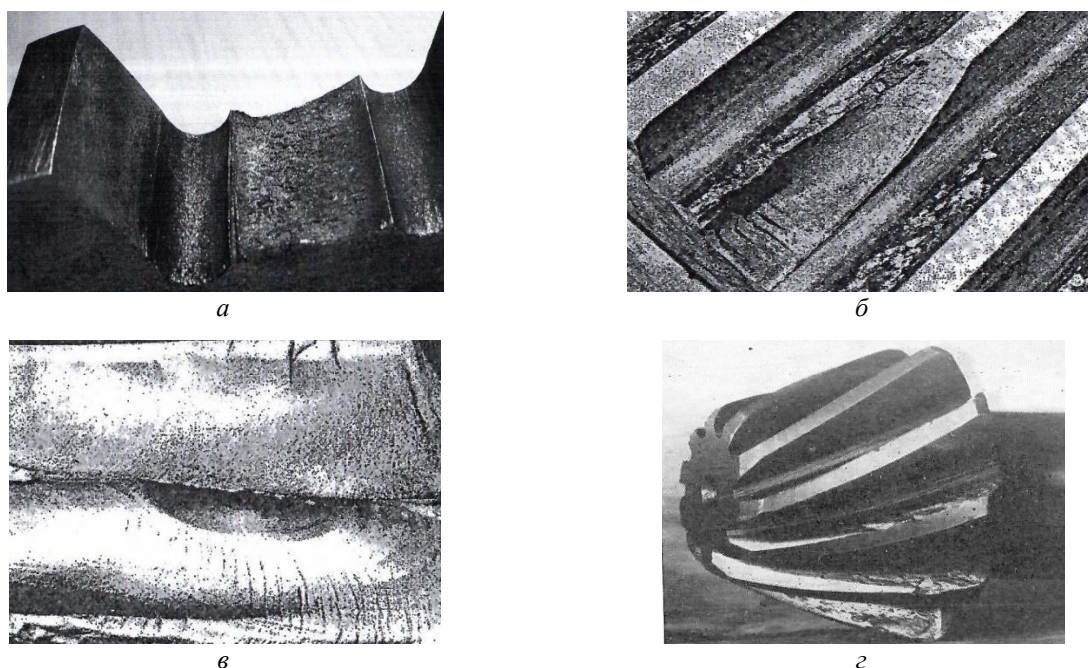


Рис. 2. Основные виды усталостных разрушений зубьев:
поломка зубьев цилиндрического (а) и конических (б, в) [2] колес;
з – контактное выкрашивание (питтинг) поверхностей конического колеса

Следует отметить, что реальный профиль галтелей прикорневых участков зубьев существенно зависит от способа и схемы нарезания колес, геометрии режущих зубьев инструмента, а также кинематических особенностей цепей обката и подачи зуборезных станков. Так, при использовании прогрессивной и более производительной схемы нарезания зубчатых колес с применением червячно-модульных фрез на

поверхности впадины в прикорневой зоне зубьев в процессе обката режущими кромками инструмента формируется слегка грубоватый «ступенчатый» микропрофиль (рис. 1, з), дополнительно усиливающий концентрацию напряжений [3]; при зубострогании мелко-модульных прямозубых конических колес на полуавтомате мод. 5Т23В, который реализует метод обката, рабочие поверхности зубьев по-

лучают вообще октоидальный профиль, т. е. не традиционный эвольвентный, а только достаточно близкий к нему [4]; отсюда и дополнительные погрешности формы кривой переходного участка прикорневой зоны зубьев. Кроме того, изгибная прочность зубьев может существенно снизиться и после их поверхностной закалки токами высокой частоты, когда эта закалка не захватывает дна впадины. В этом случае растягивающие остаточные напряжения формируются вблизи опасного сечения у галтелей и ускоряют разрушение зубьев.

Исследованиями, выполненными в разное время в научных и производственных лабораториях ЦНИИТМАШа и на заводе УралМАШ (УЗТМ) под руководством В. М. Браславского [5], убедительно показано, что наряду с традиционными и общепризнанными методами упрочняющей обработки колес, повышающими контактную и изгибную прочность зубьев, особой эффективностью обладают механические методы, основанные на поверхностном пластическом деформировании (ППД), в частности, обкатке поверхности впадин цилиндрическими и тороидальными роликами различного конструктивного исполнения. Поверхностные слои большинства изделий, частично ослабленные обработкой резанием, вследствие пластической деформации упрочняются физически: за счет наклепа повышается не только предел текучести материала, но и образуется система благоприятных остаточных сжимающих напряжений, которая сдерживает и предотвращает развитие усталостных трещин. Именно поэтому для зубчатых колес (преимущественно открытых силовых передач) положительная роль ППД будет в еще большей степени усиливаться, поскольку в них, как было отмечено выше, наиболее уязвимым местом является прикорневая область зубьев, которая при работе подвержена воздействию переменных растягивающих напряжений изгиба.

Для упрочняющей обработки зубчатых колес можно успешно применять токарные и частично модернизированные зубообрабатывающие станки. Конструктивные изменения станков касаются большей частью шпиндельных узлов зуборезных станков, где размещен соответствующий инструмент и его приводной механизм, с сохранением всех кинематических цепей подачи, ответственных за обеспечение согласованных рабочих и вспомогательных движений инструмента и упрочняемого колеса. Обкатка колес осуществляется в основном кру-

говыми тороидальными роликами, профильный радиус r которых назначается в зависимости от геометрической формы и размеров переходных участков прикорневых зон зубьев.

Основная проблема организации технологического процесса деформационного упрочнения зубчатых колес заключается в назначении режимов обработки: а это и геометрия обкатного инструмента, его форма и размеры, и рабочая нагрузка (сила обкатки), различные подачи, а также выборе соответствующего оборудования с возможностью настройки его рабочих органов на реализацию требуемых и согласованных движений инструмента и колеса.

Не маловажной задачей является и создание оптимальной степени деформации упрочненного поверхностного слоя прикорневой зоны зубьев. Для этого, согласно исследованиям [6; 7], необходимо на поверхности переходного участка впадины обеспечить интенсивность контактной упругопластической деформации близкой по значению к предельной равномерной деформации ϵ_p материала колеса. При реализации данного условия в поверхностном слое этого участка создается благоприятная система остаточных сжимающих напряжений. При упрочняющей обработке прямозубых и косозубых цилиндрических колес среднего модуля применяются либо цилиндрические ролики с линейным контактом во впадине, либо пара установленных на одной оси сдвоенных тороидальных роликов, профильный радиус которых назначается на 10–15 % меньше среднего радиуса галтели во впадине окончательно нарезанного зубчатого колеса. При этом обкатка одновременно двух прикорневых зон в одной впадине производится на режимах чистового зубонарезания на зубофрезерном станке мод. ЕЗ-40 с модернизированной фрезерной бабкой, в которой установлено нагружающее устройство и валик с роликами. Сила обкатки рассчитывается по методике [6; 7] из условия получения заданной степени деформации на поверхности и глубины упрочненного слоя порядка $(0,4 \dots 0,6) m$, где m – модуль зубчатого колеса.

При упрочняющей обработке прямозубых конических колес технологические трудности обусловлены, главным образом, непостоянством толщин зубьев и размеров впадин между ними, что значительно усложняет применение традиционных обкатных инструментов – тороидальных роликов. Поэтому предлагается использовать способ обкатки винтовыми роли-

ками, разработанный В. М. Браславским [5; 8]. Рабочие поверхности этих роликов располагаются по двум винтовым линиям взаимно противоположного направления. При качении ролика по впадине в плоскости его осевого сечения винтовые линии профилей ролика развертываются по сторонам трапеции, которые представляют образующие ножек упрочняемых зубьев. Поворот ролика на небольшой угол разводит его винтовые линии, а значит, и рабочие профили, и перемещает точки контакта ролика по ширине обрабатываемой впадины.

По данным натурных испытаний [5] описанные способы упрочнения позволяют повысить изгибную прочность зубьев нормализованных и улучшенных колес средних и крупных модулей приблизительно на 20–35 %

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31381–2009. Колеса зубчатые. Виды поврежденных. Классификация и описание. – 2009. – 72 с.

2. Тескер, Е. И. Современные методы расчета и повышения несущей способности поверхностно-упрочненных зубчатых передач трансмиссий и приводов / Е. И. Тескер. – М. : Машиностроение, 2011. – 434 с.

3. Харалампиев, И. С. Обкатывающее протягивание зубьев зубчатых колес / И. С. Харалампиев. – М. : Машиностроение, 1981. – 211 с.

4. Металлорежущие станки : учеб. пособие для втузов / Н. С. Колев, Л. В. Красниченко, Н. С. Никулин, А. С. Проников [и др.]. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1980. – 500 с.

5. Браславский, В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. – М. : Машиностроение, 1975. – 160 с.

6. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

7. Сидякин, Ю. И. Повышение эффективности упрочняющей обработки валов обкаткой их роликами или шариками / Ю. И. Сидякин // Вестник машиностроения, 2001, № 2. – С. 43–49.

8. Браславский, В. М. Станки для деформационного упрочнения крупномодульных зубчатых колес / В. М. Браславский, Н. М. Агеева // Вестник машиностроения, 1972, № 1. – С. 38–41.

УДК 664.655.6

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-40-43

В. Н. Храмова, С. Е. Божкова, В. М. Ящук, К. А. Лубчинский

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕКАРНОЙ ФОРМЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: bozhkova@mail.ru

Статья посвящена актуальной проблеме пищевой промышленности – совершенствованию конструкции пекарных форм для запекания пищевых продуктов. Разработана регулируемая секционная форма для запекания, состоящая из дна, стенок и съемных продольных и поперечных перегородок с прорезями, соответствующими толщине и высоте продольных перегородок, а количество прорезей и расстояние между ними определяются размерами формы и областью ее использования. Модернизированная пекарная форма позволяет изготавливать комбинированные изделия и одновременно изготавливать разнообразную продукцию.

Ключевые слова: пищевой продукт, запекание, пекарная форма, модернизация, перегородка, регулируемое устройство.

V. N. Khranova, S. E. Bozhkova, V. M. Yashuk, K. A. Lubchinskiy

MODERNIZATION WAYS OF STRUCTURAL ELEMENTS OF BAKING DISH

Volgograd State Technical University

The article is devoted to an urgent problem of the food industry – the improvement of the design of adjustable devices for separating food products during their baking. The analysis of ways of modernization of existing modern designs of elements of baking dishes has been carried out and an adjustable sectional baking dish has been developed, consisting of a bottom, walls and removable longitudinal and transverse partitions, and the transverse partitions are made with slots, the dimensions of which correspond to the thickness and height of the longitudinal partitions, and the number of slots and the distance between them are determined by the size of the mold and the area of its use. The modernized baking dish allows you to make combined products and produce a variety of products at the same time.

Keywords: food product, baking, baking dish, modernization, partition, adjustable device.

Расширение ассортимента и повышение потребительских качеств пищевой продукции усложняет технологический процесс ее производства, влечет за собой повышение энерго- и трудозатрат, а также вызывает необходимость использования дополнительного оборудования, либо модернизации имеющегося.

Активное развитие рынка продуктов питания формирует актуальные задачи совершенствования существующих технологий и поиска новых технологических и технических решений производственных задач получения запеченных продуктов [1].

Для производства пекарной продукции высокого качества необходим широкий спектр специального оборудования [2], в частности пекарных форм, изготавливаемых из металла, глины, стекла и полимеров.

Для промышленного применения подходят главным образом металлические формы – чугунные, алюминиевые и стальные [3].

Существующие конструкции форм [3–5] имеют ограничения:

- невозможно получению нескольких изделий или продукта, сочетающего несколько вкусовых характеристик;
- ограничение количества одновременно запекаемой продукции и ограничение в выборе и формировании форм изделий.
- раздвижные стенки существующих форм (при их наличии) не обеспечивают жесткости конструкции формы, а отделяемое дно ограничивает область применения формы, так как не защищает от вытекания жидкого сыря.

На кафедре «Технология пищевых производств» ВолгГТУ разрабатываются технологии и оборудование для производства запеченных хлебобулочных и мясо-растительных продуктов инновационной формы и состава, обогащенных биологически активными веществами, витаминами и микроэлементами, позволяющими повысить пищевую ценность и улучшить технологические показатели конечного продукта.

На основании выполненных исследований была разработана прямоугольная регулируемая секционную форма для запекания [6], позволяющая изготавливать комбинированные изделия и одновременно изготавливать разнообразную продукцию из пищевых сред (мясо-содержащих, теста, др.) в технологических линиях на предприятиях малой мощности.

Форму состоит из дна, стенок и съемных перегородок. Ее стенки выполнены с вертикально направленным рифлением, позволяю-

щим устанавливать и фиксировать продольные и поперечные перегородки, количество и место установки которых определяются заданным количеством и формой секций.

Использование съемных перегородок на этапе закладки ингредиентов позволяет получить, например, продукцию с разными рисунками, штучную продукцию разной формы и разных цветов, и сочетание разных продуктов внутри одной формы. Также появляется возможность одновременно изготовить несколько видов изделий, закладывая в секции разное сырье.

Перегородки препятствуют смешиванию ингредиентов разных изделий на стадии формирования и, при необходимости, приготовления. Их количество и сочетание может варьироваться в зависимости от желаемого результата.

На рис. 1 показана регулируемая секционная форма 1 для запекания (общий вид; вид сверху и поперечная перегородка), изготовленная из листовой нержавеющей стали толщиной не менее 1 мм в виде коробчатой конструкции с дном и боковыми стенками. Стенки формы имеют вертикальные рифления, обеспечивающие возможность установки и фиксации в них съемных перегородок 2 и 3.

Для получения большего разнообразия форм и размеров можно использовать различные сочетания продольных 2 или поперечных 3 перегородок. Поперечные перегородки 3 выполнены с прорезями 4, размеры которых соответствуют толщине и высоте продольных перегородок 2. При установке поперечных перегородок 3 «поверх» продольных, продольные перегородки 2 проходят через эти прорези 4. Количество прорезей 4 и расстояние между ними может определяться размерами формы и областью ее использования.

Сборка формы осуществляется следующим образом. В форму 1 вставляют продольные 2 и поперечные 3 перегородки. Количество и расположение перегородок зависит от желаемого конечного результата: разные ингредиенты разных цветов могут закладываться в получившиеся отсеки. Это позволяет получить продукт, имеющий различные органолептические характеристики, например, продукцию с разными рисунками, штучную продукцию разной формы или разных цветов и сочетание разных продуктов (изделий) внутри одной формы.

После сборки форма подвергается соответствующей обработке, например, смазывается растительным маслом, и заполняется пищевым продуктом, подлежащим запеканию.

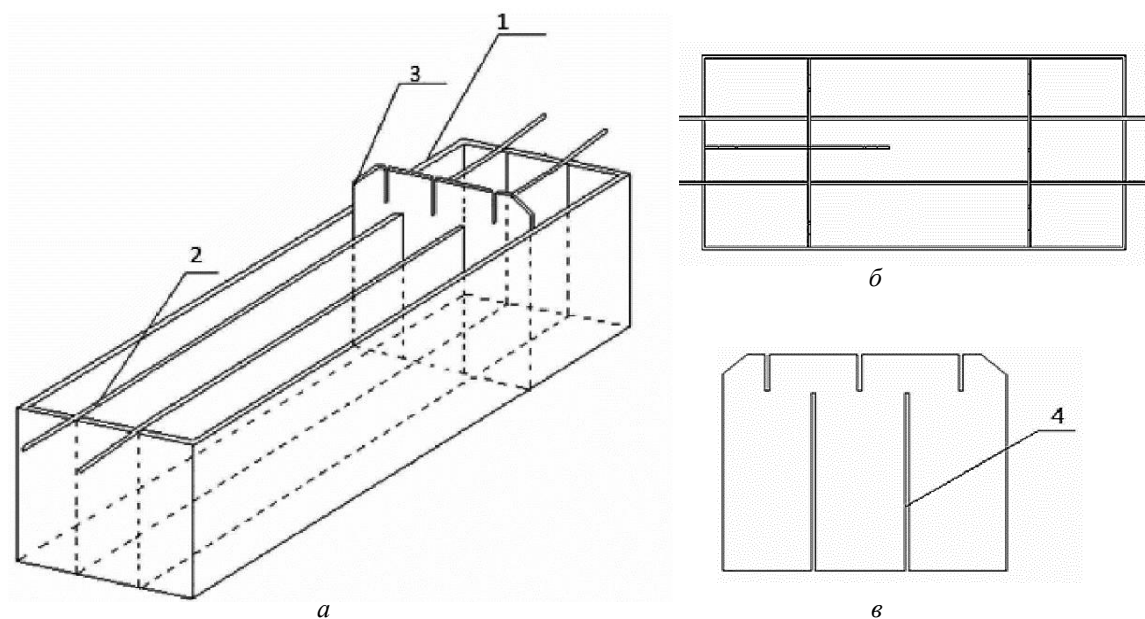


Рис. 1. Регулируемая секционная форма для запекания:
a – общий вид; *б* – вид сверху; *в* – поперечная перегородка

Перегородки при необходимости могут быть извлечены из формы до запекания (если запекается одно изделие с заданным «рисунком»). При запекании разных или штучных изделий форма может запекаться с перегородками.

Использование съемных перегородок от-

крывает широкий спектр их всевозможных комбинаций для получения не только рисунка на разрезе, но и сочетания разных продуктов внутри одной формы, получения штучной продукции заданной формы готового изделия.

На рис. 2 представлены примеры сочетания продольных и поперечных перегородок.

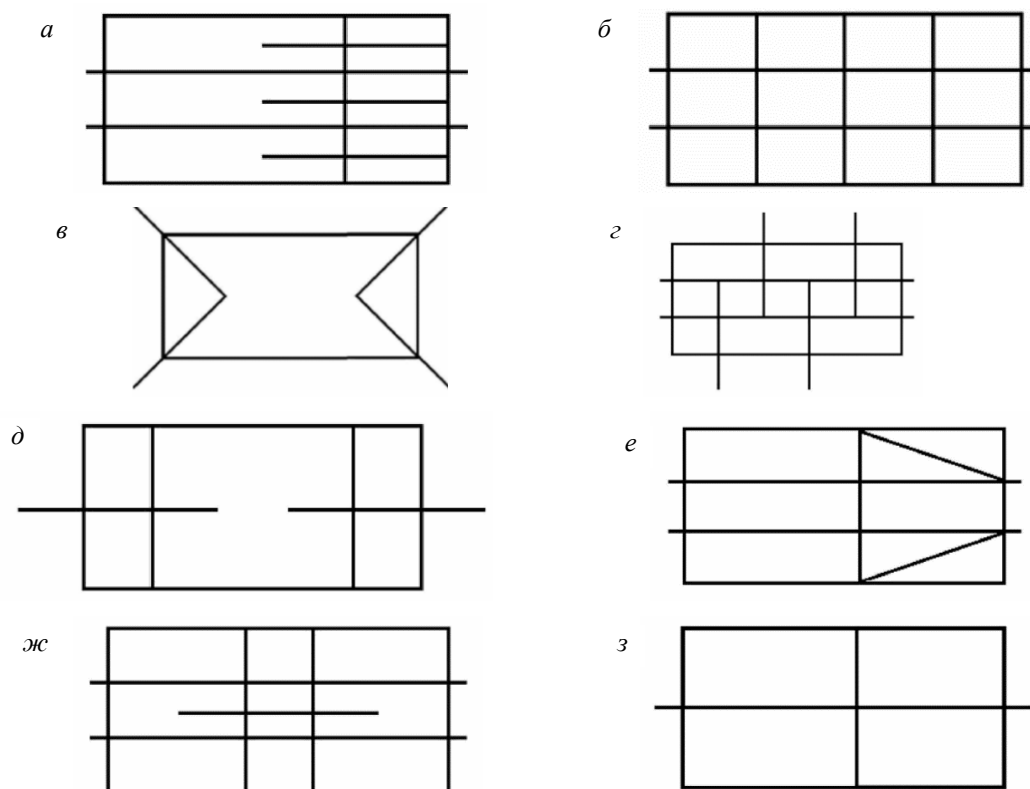


Рис. 2. Возможные варианты расстановки перегородок в регулируемой секционной форме для запекания

В случае на рис. 2, *а* и 2, *б* возможно сочетание ингредиентов разных цветов, а также укладка ингредиентов разного цвета в несколько слоев, так, чтобы чередование цветов в разных слоях отличалось. В результате получается шахматный порядок при разрезе готового изделия.

В зависимости от желаемого результата с помощью перегородки возможно создание рисунка, состоящего из шести непрерываемых полос одного или разных цветов, при этом после заполнения ингредиентами подготовленной конструкции необходимо переставить перегородки для продолжения рисунка.

На рис. 2, *в* и 2, *е* показана возможность выпекания изделий сложных геометрических фигур. При необходимости выпекания только продуктов треугольной формы, перегородки можно не вынимать перед загрузкой в печь.

Установка перегородок на рис. 2, *г* и 2, *ж* подходит, например, для продуктов с начинкой, которую закладывают в находящиеся посередине секции.

В формах, где перегородки вставлены согласно рис. 2, *а*, 2, *д* и 2, *з* возможно запекание нескольких небольших изделий, при этом перед загрузкой в печь перегородки не вынимают.

Необходимо отметить невысокий вес формы, что упрощает ее перемещение и обслуживание. Высокие прочность металлических конструктивных элементов и их коррозионная стойкость обеспечивают долговременную эксплуатацию формы.

Установка дополнительных конструктивных узлов и деталей на стенках формы и перегородках позволяет расширить ее функцио-

нальные возможности для работы в составе автоматизированного оборудования.

Форма может быть использована, как для индивидуального запекания пищевых продуктов в современных духовых электрических и газовых шкафах, так и ее можно эксплуатировать в автоматизированных печных агрегатах с инфракрасным электрическим или газовым обогревом применяемых на предприятиях пищевой промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горлов, И. Ф. Разработка технологии производства запеченного карбонада / И. Ф. Горлов, С. Е. Божкова, С. А. Гниломедова, С. А. Суркова // Аграрно-пищевые инновации. – 2020. – № 3 (11). – С. 56–65.
2. Хромеевков, В. М. Оборудование хлебопекарного производства : учеб. для нач. проф. образования / В. М. Хромеевков. – Москва : ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. – 320 с.
3. ГОСТ 17327–95. Формы хлебопекарные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 17327–88; введ. 01.01.97. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 20 с. – (Межгосударственный стандарт).
4. Формы для мясного хлеба [Электронный ресурс] // Центр пищевого оборудования: офиц. Сайт. – 2022. – Режим доступа: <https://www.cporu.ru/katalog/hlebopekarnoe-conditer-oborudovanie> (дата обрац. 14.07.2022).
5. Прямоугольная регулируемая форма для выпечки [Электронный ресурс] // Prezzentarium.ru. Режим доступа: <https://prezzentarium.ru/products/plyamougolnaya-reguliruemaya-forma> (дата обращения: 14.07.2022).
6. П.м. 202765 Российская Федерация, СПК А21В 3/13 (2020.08). Регулируемая секционная форма для запекания / В. Н. Храмова, Е. В. Храпова, А. Н. Бурдина, А. Н. Гвоздева, Е. А. Чехова ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2020126913 ; заявл. 12.08.2020; опубл. 05.03.2021, Бюл. № 7.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-44-47

А. А. Великанов, В. Г. Барабанов

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (АСУДД) НА КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Проведено исследование эффективности организации дорожного движения на нерегулируемом, саморегулируемом и регулируемом пересечении. Выявлена градация перекрестов в зависимости от значения транспортных задержек. Адаптирована существующая методика расчета светофорного цикла для кольцевых пересечений. Разработан алгоритм работы АСУДД на кольцевых пересечениях.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, дорожное движение, кольцевые пересечения.

A. A. Velikanov, V. G. Barabanov

DEVELOPMENT OF AUTOMATED TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM AT ROUNDABOUTS

Volgograd State Technical University

A study of the efficiency of traffic organization at an intersection without traffic lights, a roundabout, and an intersection with traffic lights was carried out. The gradation of intersections depending on the value of traffic delays was revealed. Adapted the existing methodology for calculating the traffic light cycle for traffic circles. An algorithm for an automated traffic control system at traffic circles has been developed.

Keywords: automated control system, traffic, roundabouts.

Согласно [1] автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) – это комплекс технических, программных и организационных мер, обеспечивающих сбор и обработку информации о параметрах транспортных потоков и на основе этого оптимизирующих управление движением. АСУДД предназначена для управления движением транспортных средств (ТС) и пешеходных потоков на дорожной сети города. Объектом управления АСУДД являются движущиеся ТС.

В настоящее время наиболее совершенным типом пересечения автомобильных дорог в одном уровне является кольцевое пересечение. Кольцевые пересечения обладают рядом преимуществ. Но, к сожалению, в городских условиях применение кольцевых пересечений ограничено в виду необходимости больших площадей, из-за этого кольцевые пересечения не способны поддерживать необходимый уровень транспортного обслуживания.

Основываясь на зарубежном и отечественном опыте некоторых крупных городов России, дальнейшим путем развития и эффективным применением кольцевых пересечений является комплекс мероприятий по усовершенствованию управления транспортными потоками в городе с помощью светофорного регулирования пересечений – внедрение АСУДД, которое заключается в поочередном пропуске ТС.

Было проведено исследование с помощью применения пакета прикладных программ для моделирования дорожного движения AIMSUN. AIMSUN – программа для оценки и прогнозирования результатов решений в сфере дорожного движения на основе имитационного моделирования. Исследование заключалось в определении эффективности организации дорожного движения (ОДД) на нерегулируемом пересечении, саморегулируемом кольцевом пересечении и на регулируемом светофорном пересечении в зависимости от интенсивности движения.

В соответствии с [3] эффективность ОДД в России определяется критерием – отношение потери времени (задержки) при движении транспортных средств и (или) пешеходов до и после

проведения мероприятий по организации дорожного движения, при условии приоритета безопасности дорожного движения. Были созданы модели дорожного движения в AIMSUN (рис. 1).

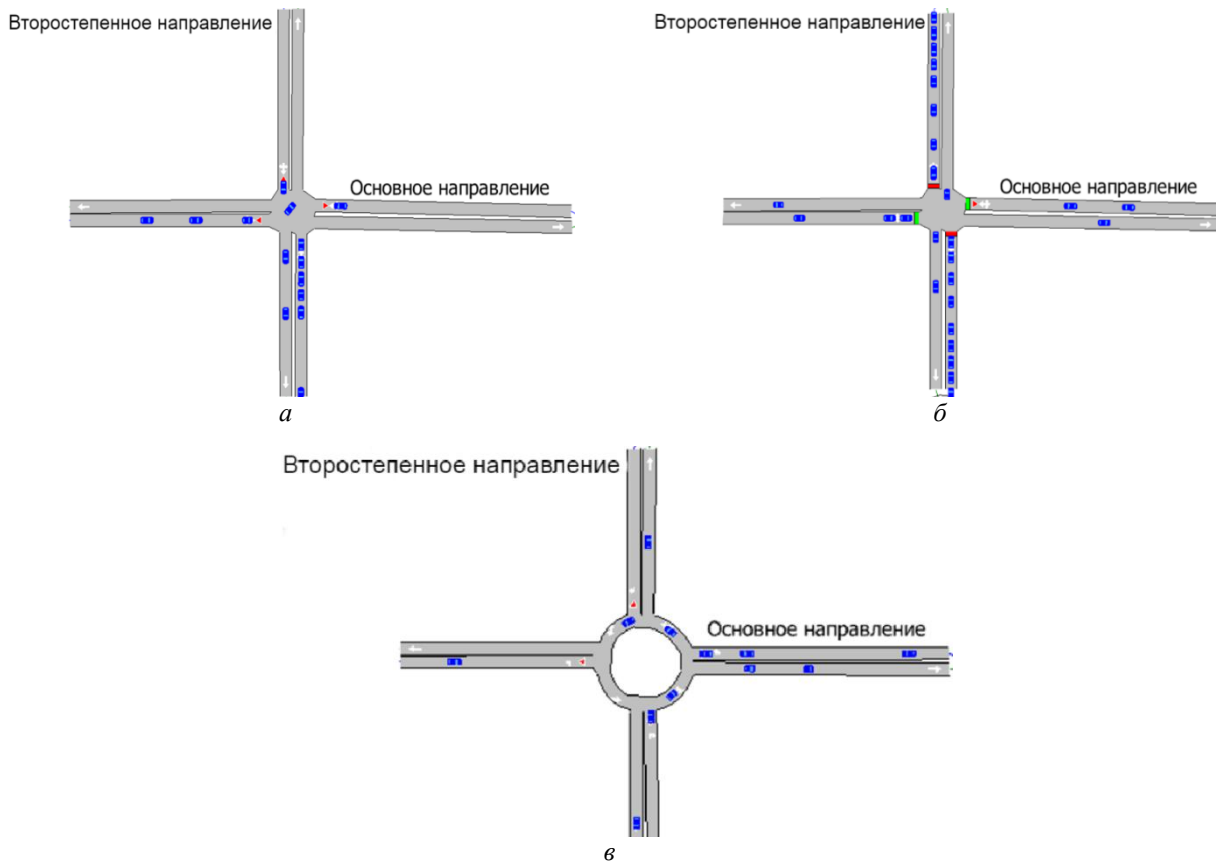


Рис. 1. Модели пресечений:

а – модель нерегулируемого пересечения; *б* – модель регулируемого пересечения; *в* – модель кольцевого пересечения

По результатам исследования построен график транспортных задержек на трех типах пересечений (рис. 2).



Рис. 2. Сравнительный график транспортных задержек на исследуемых типах пересечений

В результате было выявлено, что при любых интенсивностях движения ТС, транспортные задержки минимальны на нерегулируемом

пересечении, это связано с тем, что по основному направлению движение ТС происходит без остановки. Большие транспортные задерж-

ки наблюдаются на саморегулируемом кольцевом пересечении. Это связано с тем, что основное направление на транспортной развязке – кольцо, перед заездом на которое зачастую необходимо остановиться, это влияет на величину транспортных задержек. Самые большие транспортные задержки из рассматриваемых пересечений, наблюдаются на регулируемых пересечениях. Это связано с чередующейся последовательности горения разрешающего и запрещающего сигналов светофора, не все ТС могут пройти развязку без остановки. Этот факт еще больше усугубляется при больших интенсивностях ТС, происходит образование очередей из ТС перед регулируемым пересечением. Исходя из этого, кольцевое пересечение является перспективным, несмотря на то, что транспортные задержки минимальны на нерегулируемом пересечении. По сравнению с другими типами, кольцевое пересечение является более безопасным.

Согласно нормативным документам [2] кольцевое пересечение может быть оборудовано светофорами, как на самом пересечении, так и на подходах к нему. Но при анализе литературы не было выявлено, что существующая методика расчета светофорного цикла могла бы эффективно применяться и для кольцевых пересечений. Существующая методика была адаптирована получившимся коэффициентом «1.39» для второстепенного направления. Получили следующее выражение для режима работы светофорной сигнализации:

$$\begin{cases} T_{\text{ц}} = \frac{1.5 \times t_{\text{пер}} + 5}{1 - (1.39 \times y_{\text{втор}} + y_{\text{основ}})} \\ t_{\text{зел.основ}} = \frac{(T_{\text{цикла}} - t_{\text{пер}}) \times y_{\text{основ}}}{1.39 \times y_{\text{втор}} + y_{\text{основ}}} \\ t_{\text{зел.втор}} = \frac{1.39 \times (T_{\text{цикла}} - t_{\text{пер}}) \times y_{\text{втор}}}{1.39 \times y_{\text{втор}} + y_{\text{основ}}}; \end{cases}$$

где $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла регулирования; $t_{\text{зел.основ.}}$ – время горения разрешающего сигнала светофора для основного направления, с; $t_{\text{зел.втор.}}$ – время горения разрешающего сигнала светофора для второстепенного направления и кольца, с; $t_{\text{пер}}$ – сумма переходных сигналов светофора, с; $y_{\text{основ.}}$, $y_{\text{втор.}}$ – фазовые коэффициенты основного и второстепенного направления.

Далее на модели дорожного движения в программном комплексе AIMSUN была оценена эффективность адаптированной методики по сравнению с существующей.

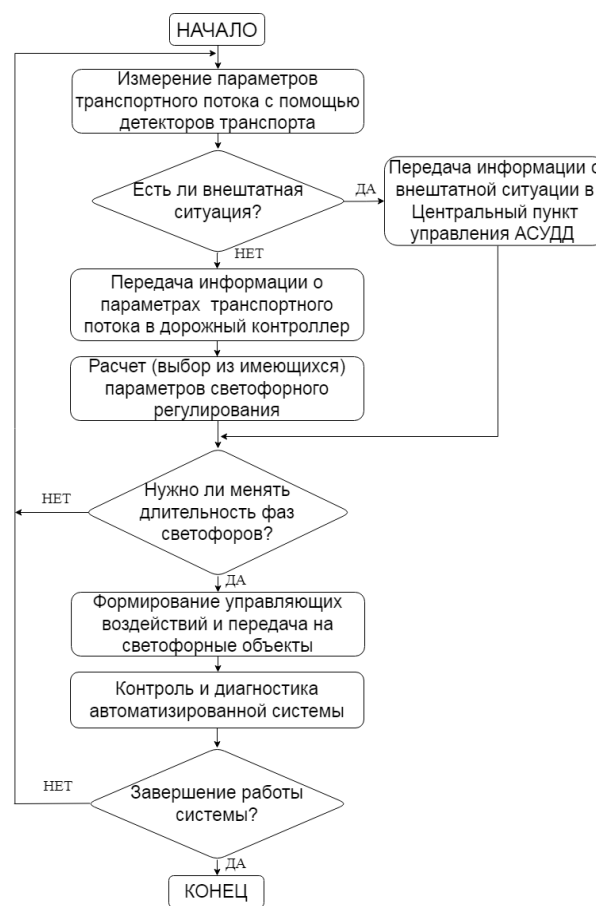


Рис. 3. Алгоритм функционирования АСУДД на кольцевом пересечении

В результате исследования было выявлено, что увеличивается длительность горения разрешающего сигнала светофора для второстепенного направления кольца транспортной развязки в адаптированной методике. Применение адаптированной методики расчета светофорного цикла на созданной модели дорожного движения приводит к снижению транспортной задержки на пересечении на 28 % в среднем, а при условиях характеризующих наиболее вероятный режим работы пересечения в обычных условиях, до 40 %. При низких значениях интенсивности дорожного движения применение классической методики расчета светофорного цикла – предпочтительнее.

Также был разработан алгоритм работы АСУДД на кольцевых пересечениях (рис. 3).

Алгоритм представляет собой следующее: первоначально, происходит измерение и анализ параметров транспортного потока с помощью детекторов транспорта. Затем происходит передача по каналам связи полученной информации в Центральный пункт управления АСУДД. После этого, на основе полученной информации,

происходит расчет (или выбор из имеющихся) параметров цикла светофорного регулирования. Далее происходит формирование управляющих воздействий и передача их на светофорные объекты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кременец, Ю. А.* Технические средства организации дорожного движения : учеб. для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с. : ил.

2. ПНСТ 271-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Кольцевые пересечения. Правила проектирования. Официальное издание. – М. : Стандартинформ, 2018.

3. Федеральный закон «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.12.2017 № 443-ФЗ.

УДК 66.021.4.096.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-47-50

О. А. Залипаева^{1,2}, А. Д. Каверин¹, П. П. Залипаев¹, С. Г. Поступаева¹

ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ В ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТАХ

¹Волгоградский государственный технический университет

²Волжский политехнический институт

E-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Описываются работа теплообменного оборудования с кипящим слоем. Рассматривается процесс кристаллизации гранулята полиэтилентерефталата в псевдоожигенном слое при производстве полиэфирных технических нитей. Предлагается осуществлять импульсное регулирование расхода псевдоожигающего агента для повышения теплообмена и исключения склеивания гранул.

Ключевые слова: псевдоожигенный слой, кристаллизатор, сушилка, импульсное регулирование, пульсатор.

O. A. Zalipava^{1,2}, A. D. Kaverin¹, P. P. Zalipayev¹, S. G. Postupaeva¹

PULSE REGULATION OF THE FLUIDIZED BED IN HEAT AND MASS TRANSFER DEVICES

¹Volgograd State Technical University

²Volzhsky Polytechnic Institute (branch)

The operation of heat and mass transfer equipment with a fluidized bed is described. The process of crystallization of polyethylene terephthalate granulate in a fluidized bed in the production of polyester technical yarns is considered. It is proposed to carry out pulse control of the fluidizing agent flow rate to increase heat and mass transfer and eliminate the gluing of granules.

Keywords: fluidized bed, crystallizer, dryer, pulse control, pulsator.

Теплообменные аппараты с псевдоожигенным слоем широко применяются в химической, нефтехимической и пищевой промышленности для сушки и кристаллизации целевого продукта. Сушилки и кристаллизаторы с псевдоожигенным слоем позволяют обеспечивать высокое время пребывания материала в зоне сушки, что приводит к низкому значению среднего влагосодержания высушенного дисперсного материала. В таких аппаратах, как правило, проводят теплообменные процессы с крупнодисперсными материалами.

В аппаратах с псевдоожигенным слоем обеспечивается интенсивное перемешивание дисперсного материала в рабочем объеме, по-

зволяющее использовать сушильный агент с высокими значениями начальной температуры без опасности перегрева высушиваемого продукта. В качестве сушильного агента в сушилках с кипящим слоем используются горячий воздух, дымовые и горячие инертные газы. Также можно создать псевдоожигенный слой за счет другого инертного материала, с которым контактирует высушиваемый материал в токе горячего сушильного агента, обеспечив вывод высушенного материала с отработанным сушильным агентом через циклоны.

В кипящем слое осуществляется быстрое выравнивание температур твердых частиц и сушильного агента, в нем обеспечивается ин-

тенсивный тепло- и массообмен между твердой и газовой фазами, в результате чего сушка занимает непродолжительное время.

Кристаллизатор с псевдоожиженным слоем широко применяется для производства полиэфирных технических нитей из гранулята полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Целью работы является импульсное регулирование псевдоожиженного слоя в рассматриваемом кристаллизаторе.

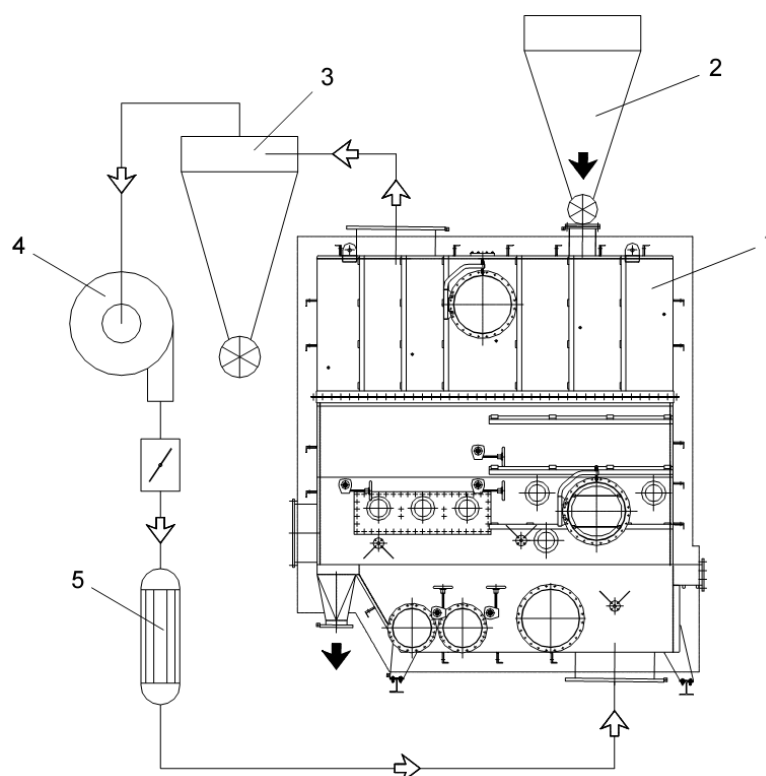
Полиэтилентерефталат – это термопластик, наиболее распространенный представитель

класса полиэфиров, который в твердом состоянии существует в двух структурах:

- аморфный (прозрачные гранулы с насыпной плотностью 650–850 кг/м³);
- кристаллический (матовый, с насыпная плотностью 850–950 кг/м³).

Полиэтилентерефталат не токсичен и при нормальных условиях не оказывает вредного влияния на организм человека.

Процесс кристаллизации гранулятора ПЭТФ изображен на рисунке и заключается в следующем.



Принципиальная схема кристаллизации гранулятора ПЭТФ

Аппаратчик поликонденсации подготавливает промежуточный продукт – высоковязкий гранулят ПЭТФ, который используется для изготовления технических нитей. Из разделительного бункера с помощью барабанного шлюза 2 аморфный гранулят ПЭТФ для процесса кристаллизации поступает в кристаллизатор 1, который представляет собой тепломассообменный аппарат с псевдоожиженным слоем. Поверхность обдува (сито) выполнено с площадью 2,05м².

Гранулят ПЭТФ поступает в аппарат сверху через входной патрубок. Снизу аппарата через входной патрубок подается воздух. Воздух всасывается вентилятором 4 и поступает в теплообменник 5, где нагревается до температуры

(165–180) °С. Затем горячий воздух направляется в кристаллизатор 1 для термической обработки продукта. Поток горячего воздуха движется через слой гранулята снизу вверх, подерживая его во взвешенном состоянии.

Сначала гранулят поступает в первую камеру – зону предварительного нагрева (фонтанирующий слой). Высота слоя гранулята в зоне предварительного нагрева регулируется с помощью маховичка и должна составлять 0,6 м. Уровень гранулята в кристаллизаторе составляет 50±20 %.

Далее гранулят ПЭТФ проходит процесс предкристаллизации в псевдоожиженном слое (вторая камера). Высота слоя гранулята в псевдоожиженном слое составляет 0,4 м.

При прохождении воздуха через гранулят мелкие частицы поднимаются и уносятся из кристаллизатора 1, а затем удаляются в пылеотделителе 3.

Во второй зоне псевдоожиженного слоя (третья камера) происходит кристаллизация гранулята ПЭТФ.

Оба процесса (предварительный нагрев гранулята и кристаллизация) протекают в одном аппарате в потоке горячего воздуха. Расход воздуха в первой камере регулируется с помощью заслонки на центробежном вентиляторе. Расход воздуха во второй и третьей камерах регулируются с помощью маховичков, расположенных в нижней части аппарата.

После кристаллизатора с помощью барабанного шлюза, представляющего собой тангенциальный шлюз, предназначенный для дозирования и загрузки гранулята и состоящий из корпуса и вращающегося внутри ротора, гранулят подается в реактор твердофазной дополиконденсации через выходной патрубок, расположенный в нижней части кристаллизатора.

Степень кристалличности гранулята ПЭТФ после кристаллизатора составляет 25–35 %. Под кристаллизатором установлен пробоотборник для отбора проб гранулята ПЭТФ для контроля его качества.

Основными недостатками сушилок и кристаллизаторов с псевдоожиженным слоем является малая внутренняя гидродинамическая устойчивость самого слоя, которая может приводить к комкованию, образованию зон слеживающегося материала и прекращению процесса непрерывной работы установки.

Предлагается нивелировать существующие недостатки теплообменных аппаратов с псевдоожиженным слоем импульсным регулированием расхода псевдоожижающего агента. Для этого на линию подачи горячего воздуха устанавливается пульсатор с регулируемой частотой и мощностью. Частота и мощность пульсатора подбирается в зависимости от геометрических и технологических параметров подаваемого сырья.

В течение одного цикла гранулы, продуваемые прерывистым потоком горячего воздуха, находятся во взвешенном, падающем и неподвижном состояниях, что увеличивает их динамику и изменяет пути прохода воздуха через псевдоожиженный слой [1]. Это позволяет получать более высокие коэффициенты теплообмена с поверхностями нагрева и исключает склеивание гранул.

При импульсном регулировании псевдоожиженного слоя образуются волны давления (сжатия), сила действия которых в два раза больше, чем в стационарном потоке [2]. Слой гранул переходит в состояние пульсирующего псевдоожижения, представляющего собой динамическую высокотурбулентную газодисперсную смесь. При этом нарушается баланс между силами, действующими на гранулы. В зависимости от скорости движения горячего воздуха в слое гранулята образуются слабые и сильные волны давления [3]. Слабые волны давления движутся со скоростью, близкой к скорости звука. Сильные волны давления в активной фазе пульсирующего слоя распространяются в псевдоожиженном слое гранул со скоростью, превышающей скорость звука. Особенность сильной волны давления в том, что такие параметры системы, как давление и плотность, изменяются скачком [4].

Изменение гидравлического сопротивления пульсирующего слоя в зависимости от скорости пульсации имеет такой же характер, как и в псевдоожиженном слое [5]. С увеличением частоты пульсации сопротивление в псевдоожиженном слое гранул возрастает, затем достигает своего максимума и остается практически неизменным, но незначительно ниже, чем в стационарном псевдоожиженном слое.

В подключенном на линии подачи горячего воздуха пульсаторе настраивались оптимальные значения частоты и интенсивности пульсатора в зависимости от параметров гранулята в псевдоожиженном слое. Интенсивность пульсатора F характеризуется частотой пульсаций f и максимальной амплитудой $Z_{\max}$:

$$F = f \cdot Z_{\max}.$$

Определено оптимальное значение интенсивности пульсаций пульсатора, соответствующее устойчивому режиму работы кристаллизатора.

Экспериментальные исследования при импульсном регулировании процесса кристаллизации гранулята ПЭТФ позволили получить сильные завихрения в зоне псевдоожиженного слоя, исключаящие склеивание гранул. В кристаллизаторе с пульсирующим потоком горячего воздуха при перемещении гранул в фонтанирующем слое в зависимости от параметров кристаллизуемого продукта и оптимальном регулировании частоты и амплитуды пульсаций не происходит склеивания (агломерации) гранул и повышается теплообмен, что в це-

лом повышает эффективность и производительность рассматриваемого процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет расширения слоя дисперсного материала при его импульсном псевдооживлении / А. В. Федоров [и др.] // Прикладная механика и техническая физика. – 2012. – Т. 53, № 3. – С. 105–116.
2. Форхгеймер, Ф. Гидравлика / Ф. Форхгеймер. – М.: Л., 1935. – 615 с.
3. Torre, C. Die Theorie des Flussbettes / C. Torre // Östern Ing. Z. – 1964. – Vol. 7, No 5.
4. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович. – М.; Л.: ГИТТЛ, 1951. – 824 с.
5. Боровский, В. Р. Исследование гидродинамики фонтанирующего слоя полимерного материала / В. Р. Боровский, Л. М. Мишнаевский, Н. А. Шаркова // Теплофизика и тепло-техника. – Киев : Наук. думка, 1971. – Вып. 19. – С. 80–83.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-50-52

Д. С. Князев, В. В. Иванова, А. П. Порхун, И. М. Шандыбина

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА УПАКОВКИ КРЫШКИ КУВШИНА В ТЕРМОУСАДОЧНУЮ ПЛЕНКУ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Разработан стенд на базе программируемого реле ПР200 для моделирования работы автоматизированной системы процесса упаковки крышки кувшина в термоусадочную пленку. В среде разработки CoDeSys разработан интерфейс программы для управления системой в удаленном режиме.

Ключевые слова: автоматизированная система, упаковка, стенд, программируемое реле, интерфейс, программа.

D. S. Knyazev, V. V. Ivanova, A. P. Porkhun, I. M. Shandybina

TECHNICAL IMPLEMENTATION OF THE AUTOMATED SYSTEM OF A PITCHER LID PACKAGING PROCESS IN HEAT SHRINK FILM

Volgograd State Technical University

A bench based on programmable relay PR200 has been developed to simulate operation of the automated system of a pitcher lid packaging process in heat shrink film. The program interface has been developed for remote control of the system in programming environment CoDeSys.

Keywords: automated system, packaging, bench, programmable relay, interface, program.

Автоматизация упаковочного процесса продукции обеспечивает снижение издержек и повышение производительности на завершающем этапе производства, при хранении и транспортировке товара потребителю [1]. В рамках всероссийского научно-творческого конкурса «Всероссийский инженерный хакатон 2022» компанией «Аквафор», производящей фильтры для воды, была поставлена технологическая задача автоматического нанесения защитной пленки на крышку кувшина. Пленка наклеивается на наружную сторону крышки с загибами, перекрывающими боковые поверхности. Необходимо обеспечить максимально возможное прилегание пленки к поверхностям крышки.

Была разработана структурная схема автоматизированной системы упаковки крышки в термоусадочную пленку (АСупаК), и предложен алгоритм работы системы. В рамках технической реализации данного алгоритма разработан стенд на базе программируемого реле

ПР200 компании ОВЕН (рис. 1). Программа, загружаемая в реле, написана на языке FBD

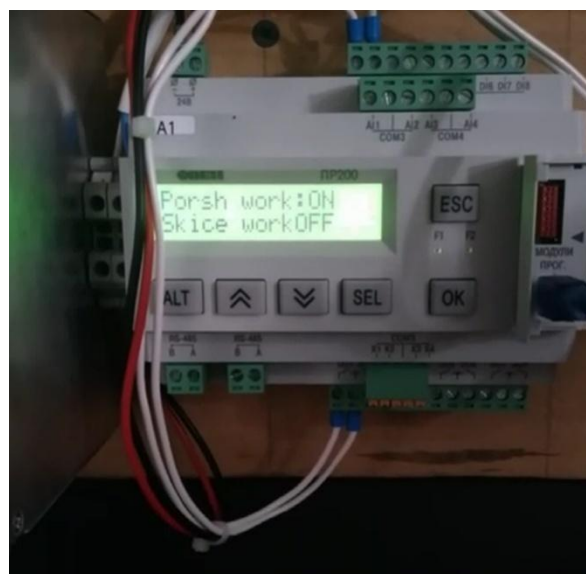


Рис. 1. Стенд на базе реле ПР200

(функциональных блокных диаграмм) в среде разработки Owen Logic [2].

Стенд состоит из блока питания EDR-75-24 и реле ПР200. К дискретному входу реле D1 подключен переключатель для запуска/останова работы программы на стенде. К дискретному выходу подключена лампочка, которая подает сигнал об аварии.

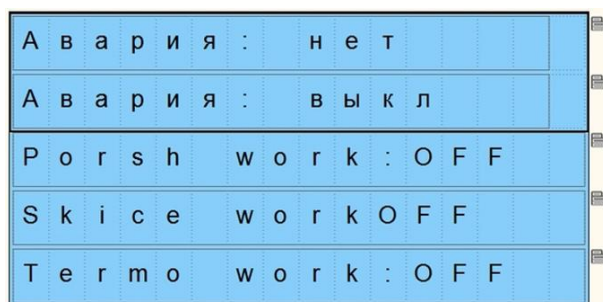


Рис. 2. Интерфейс АСУПАК в Owen Logic

Работа стенда начинается после поворота переключателя вправо. За симуляцию подачи крышек на конвейер отвечает генератор импульсов – функциональный блок в программе,

подающий сигнал о включении следующего функционального блока через определенный промежуток времени. Таким образом моделируется работа системы в реальных условиях. Во время работы АСУПАК на дисплее реле в реальном времени отображается состояние каждого узла (рис. 2).

В случае аварийной ситуации программа приостанавливает работу всей системы и загорается лампочка, подключенная к реле. С помощью экрана ПР200 выключается предохранитель после срабатывания сигнализации об аварии.

Для визуализации работы программы и удаленного управления процессом упаковки в среде CoDeSys был разработан операторский интерфейс (рис. 3) [3]. Визуализация включает в себя узлы установки: рулон с пленкой, направляющие ролики, прижим (поршень) с губчатой поверхностью, нож и термоусадочную камеру; индикаторы, отвечающие за работу и состояние каждого из узлов, а также кнопку выключения предохранителя. На рис. 3 представлена визуализация программы в случае отключенной установки.

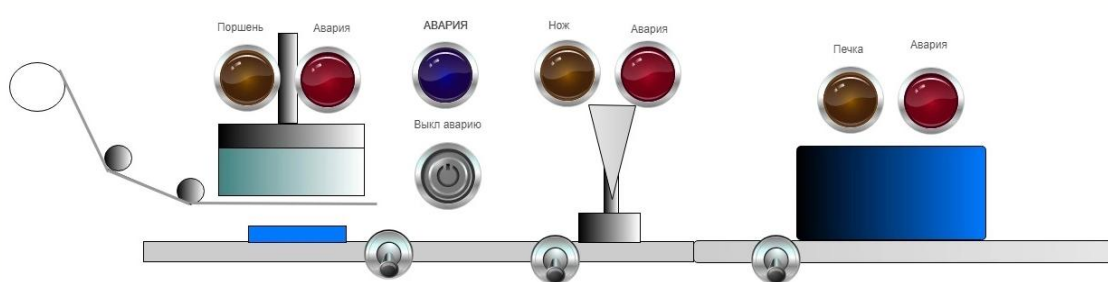


Рис. 3. Визуализация программы в случае отключенной установки

Для данного интерфейса была написана программа на языке FBD в среде CoDeSys (рис. 4).

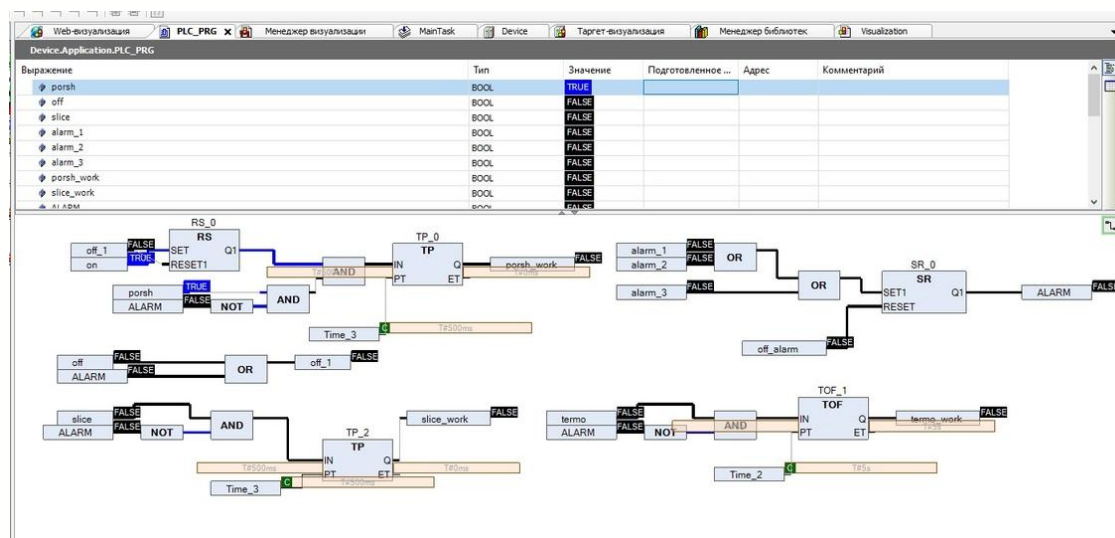


Рис. 4. Программа на языке FBD, созданная в среде CoDeSys

Во время работы установки при изменении состояния одного из узлов системы загорается соответствующий ему индикатор, который показывает, включен или выключен этот узел

в данный момент времени (рис. 5). Эта функция интерфейса позволяет отследить, в каком месте находится крышка. На уровне конвейера находятся индикаторы датчиков.

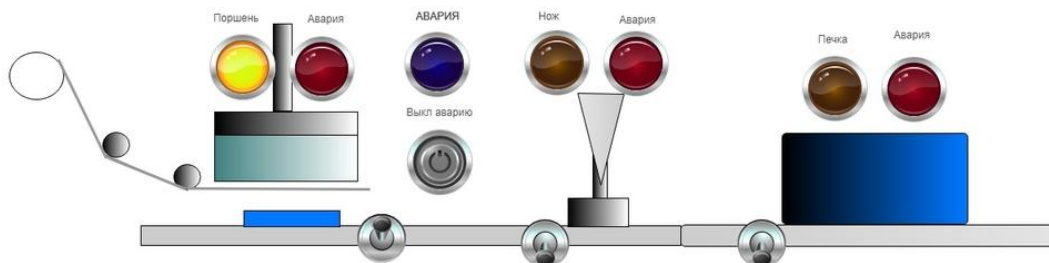


Рис. 5. Визуализация программы в рабочем режиме

При аварийной ситуации загорается индикатор аварии, и система приостанавливается (рис. 6). После нажатия кнопки выключения

предохранителя узлы установки снова продолжают работать.

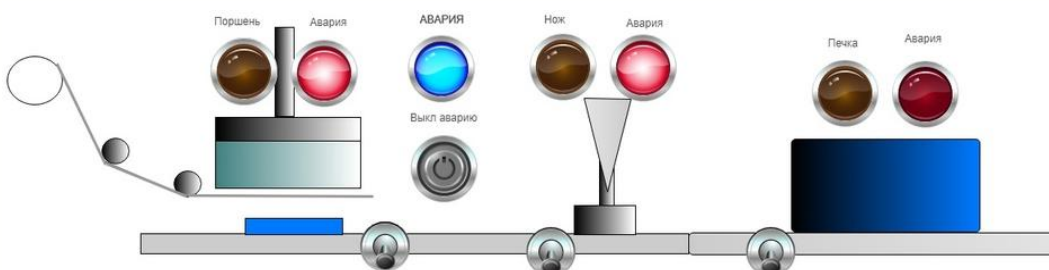


Рис. 6. Визуализация программы в аварийном режиме

Разработанный стенд на базе реле ПР200 и операторский интерфейс в среде CoDeSys дают возможность осуществить моделирование работы автоматизированной системы процесса упаковки крышки кувшина в термоусадочную пленку в различных режимах и подготовить АСУПАК к практической реализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация упаковочных линий [Электронный ресурс]. URL: <https://rusautomation.ru/articles/avtomatizatsiya-upakovochnykh-linii/> (дата обращения: 29.01.2023)
2. OWEN Logic (версия 1.13). Руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: https://owen-prom.ru/files/rp_owen_logic_13.pdf (дата обращения: 29.01.2023)
3. CODESYS V3 [Электронный ресурс]. URL: https://owen.ru/product/codesys_v3 (дата обращения: 29.01.2023)

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-52-54

Д. С. Князев, Е. А. Макарова, И. М. Шандыбина, М. П. Кухтик
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЦЕССА УПАКОВКИ
КРЫШКИ КУВШИНА В ТЕРМОУСАДОЧНУЮ ПЛЕНКУ
Волгоградский государственный технический университет
 E-mail: app@vstu.ru

Разработана структурная схема и алгоритм работы автоматизированной системы процесса упаковки крышки кувшина в термоусадочную пленку. В среде разработки Owen Logic написана программа, содержащая блоки управления, блоки генератора импульсов и блоки аварийной сигнализации.

Ключевые слова: автоматизированная система, упаковка, конвейер, оптические датчики, термоусадочная пленка.

D. S. Knyazev, E. A. Makarova, I. M. Shandybina, M. P. Kukhtik
**AUTOMATED SYSTEM OF A PITCHER LID PACKAGING
 PROCESS IN HEAT SHRINK FILM**

Volgograd State Technical University

Block diagram and operation algorithm for automated system of a pitcher lid packaging process in heat shrink film have been developed. A program has been written in programming environment Owen Logic. This program contains control blocks, blocks of impulse generator and blocks of warning alarm.

Keywords: automated system, packaging, conveyor, optical sensors, heat shrink film.

Быстрая и качественная упаковка защищает товар от атмосферных осадков, повреждений при погрузке, транспортировке, разгрузке и складировании. Автоматизация упаковочного процесса позволяет сократить трудозатраты на единицу продукции и снизить ее себестоимость [1–3]. В рамках всероссийского научно-творческого конкурса «Всероссийский инженерный хакатон 2022» компанией «Аквафор», производящей фильтры для воды, была поставлена технологическая задача ав-

томатического нанесения защитной пленки на крышку кувшина. Пленка наклеивается на наружную сторону крышки с загибами, перекрывающими боковые поверхности. Необходимо обеспечить максимально возможное прилегание пленки к поверхностям крышки. Цикл работы программы должен составлять не более 20 секунд.

На рис. 1 представлена структурная схема автоматизированной системы упаковки крышки в термоусадочную пленку (АСупаК).

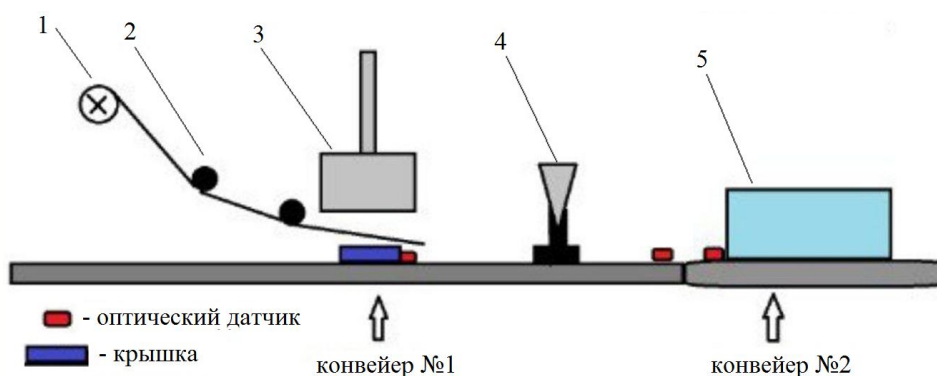


Рис. 1. Структурная схема АСупаК:

1 – рулон с пленкой; 2 – направляющие ролики; 3 – прижим (поршень) с губчатой поверхностью; 4 – нож; 5 – термоусадочная камера

В системе используется два конвейера: шаговый (конвейер № 1) и с постоянной скоростью (конвейер № 2). На шаговом конвейере на крышку с помощью прижима приклеивается пленка. Отличительной особенностью АСупаК является использование прижима с губчатой поверхностью, которая позволяет наиболее эффективно зафиксировать пленку на поверхности крышки. Далее, передвигаясь по конвейеру № 1, крышка тянет за собой пленку, разматывая ее для следующей крышки. Дойдя до ножа, пленка обрезается с конца первой крышки, после чего крышка переходит на конвейер № 2. На конвейере с постоянной скоростью крышка с пленкой поступает в термоусадочную камеру. Таким образом, пленка усаживается на крышку без каких-либо зазоров, после чего цикл работы установки завершается.

Для определения местоположения крышки и подачи своевременного сигнала срабатывания узлов АСупаК используются оптические дискретные датчики [4].

В качестве программной реализации алгоритма работы данной системы в среде разработки Owen Logic была написана программа на языке FBD (функциональных блоковых диаграмм) (рис. 2) [5].

На рис. 2 зеленым цветом отмечены функциональные блоки программы, каждый из которых отвечает за работу отдельного узла АСупаК. Красным цветом отмечены блоки генератора импульсов, которые создают симуляцию процесса упаковки для отладки программы. К дискретным входам подключены сигналы оптических датчиков, кнопка включения/выключения системы, кнопка выключения предохран-

нителя. Каждый функциональный блок управления подает на выход дискретный сигнал о выполнении действия соответствующего узла. Блоки управления выполняются через определенный период времени. Таким образом, учитывается расстояние между узлами АСУпаК и скорость конвейера. Также в программе предусмотрена остановка работы системы при аварийной

ситуации (функциональные блоки, отмеченные синим цветом): срабатывает предохранитель, на выход подаются дискретные сигналы для включения аварийной лампочки и остановки работы конвейеров и остальных исполнительных устройств. При выключении предохранителя АСУпаК продолжает свою работу. Цикл работы программы составляет 17 секунд.

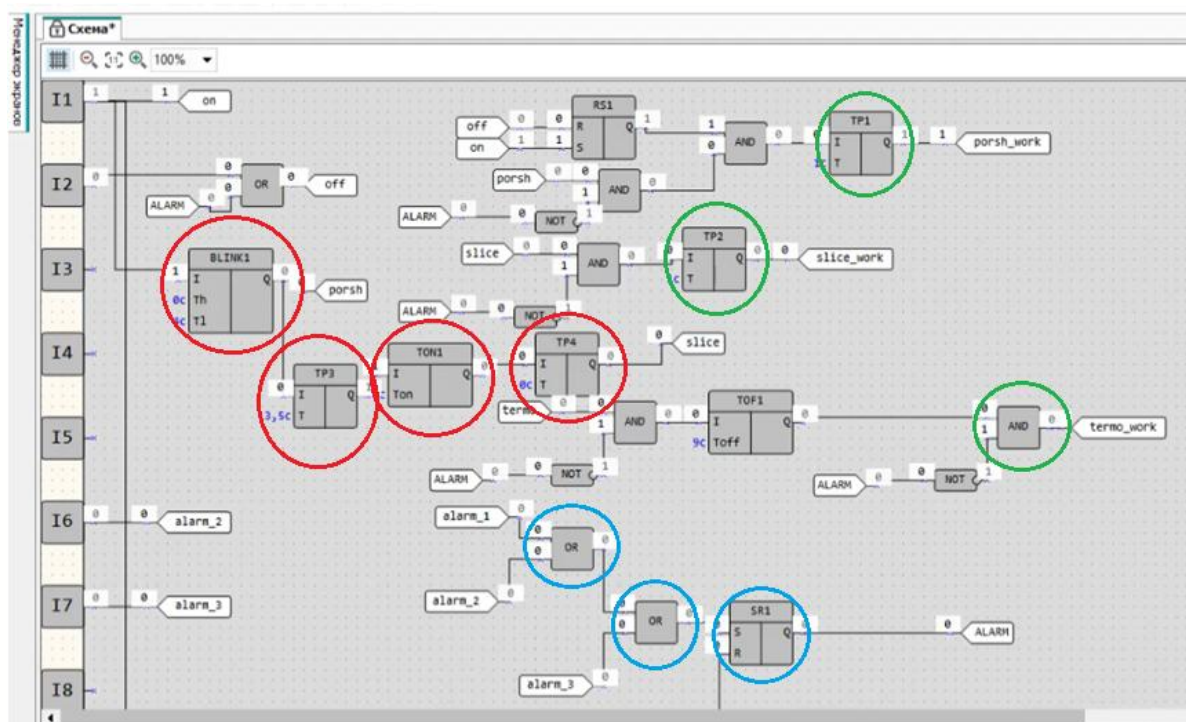


Рис. 2. Программа АСУпаК на языке FBD

Наличие таймеров в функциональных блоках позволяет учитывать расстояние между отдельными узлами АСУпаК, что дает возможность адаптировать ее работу под параметры конкретного оборудования. Использование хорошо интерпретируемого языка FBD делает программу несложной в отладке. Разработанная автоматизированная система процесса упаковки крышки кувшина в термоусадочную пленку позволит снизить временные затраты при производстве фильтров-кувшинов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линии упаковки для производства [Электронный ресурс]. URL: <https://omssystems.ru/blog/linii-upakovki-dlja-proizvodstva/> (дата обращения: 23.01.2023)
2. Сердобинцев, Ю. П. Automated Decision Support System for Packaging Equipment Selection / Ю. П. Сердобинцев, А. М. Макаров, М. П. Кухтик // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Sochi, Russia, 9-16 September, 2018) / Institute of Electrical and Electronics Engineers, South Ural State University (national research university), IEEE Russia Siberia Section, IEEE Russia Section, South Ural IEEE Chapter. – [Publisher: IEEE Xplore], 2018. – 4 p. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8501773>.
3. The Quality Control of the Automatic Manipulating Process of a Flexible Container When Bulk Materials are Packaged / А. М. Макаров [и др.] // Machines. – 2019. – Vol. 7, No. 4. – 24 p. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-1702/7/4/62>.
4. Оптические датчики [Электронный ресурс]. URL: <https://leuze.ru/opticheskie-datchiki> (дата обращения: 23.01.2023)
5. OWEN Logic (версия 1.13). Руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: https://owen-prom.ru/files/tr_owen_logic_13.pdf (дата обращения: 23.01.2023)

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-55-58

*Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов***К РАЗРАБОТКЕ СИЛОВОГО АГРЕГАТА ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ
НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЕРЕМЫЧЕК
ПЛАСТОВ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОЛОСТЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: kvi_au@mail.ru

Представлен силовой агрегат насосной установки комплекса для гидроразрыва перемычек пластов нефтяных и газовых изолированных полостей с дизельным ДВС эффективной мощностью до 2206 кВт (3000 л.с.), с высокооборотной двухпоточной коробкой перемены передач (КПП) и гидронасосом с максимальным рабочим давлением 105 МПа. Разработка направлена на повышение производительности, к.п.д., надежности и упрощение силового агрегата.

Ключевые слова: дизельный ДВС, высокооборотная двухпоточная КПП, гидронасос высокого рабочего давления.

*Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov***TO THE DEVELOPMENT OF A POWER UNIT OF INCREASED CAPACITY
OF A PUMPING PLANT OF A COMPLEX FOR HYDRAULIC FRACTURING
OF JUMPERS OF OIL AND GAS INSULATED CAVITIES****Volgograd State Technical University**

Presented the power unit of the pumping unit of the complex for hydraulic fracturing of the formations of oil and gas isolated cavities with a diesel internal combustion engine with an effective power of up to 3000 l.s., with a high-speed double-flow gearbox and a hydraulic pump with a maximum working pressure of 105 MPa. The development is aimed at improving productivity, efficiency, reliability and simplifying the power unit.

Keywords: diesel internal combustion engine, high-speed double-flow gearbox, high-pressure hydraulic pump.

В настоящее время до 20 % нефти и газа остаются неизвлеченными из подземных изолированных нефтяных и газовых полостей при буровых разработках таких месторождений. Для полного освоения месторождения используется объединение смежных полостей методом глубокопроникающего гидравлического разрыва большим давлением рабочей жидкости разделяющих перемычек между пластами изолированных нефтяных и газовых полостей [1]. Российская промышленность для реализации этого метода использует зарубежные технические решения насосных установок, работающих в составе одноименного (с методом) мобильного комплекса, что значительно увеличивает финансовые затраты и не соответствует требованиям импортозамещения. Для устранения этих проблем актуально создание мощного силового агрегата насосной установки мобильного комплекса гидроразрыва, который по своим параметрам конкурирует с зарубежными аналогами и может изготавливаться на отечественной базе.

Известные силовые агрегаты насосной установки мобильного комплекса гидроразрыва

производства США, Канады, Германии, в которых используется планетарная гидромеханическая КПП типа “Allison”, обладают недостаточной производительностью в связи с использованием ДВС ограниченной мощности и насосов с низким максимальным рабочим давлением, а также большими потерями мощности ДВС при использовании гидротрансформатора в КПП, сложностью конструкции, низкой надежностью силового агрегата.

Цель работы – повышение производительности, к.п.д., надежности работы и упрощение конструкции силового агрегата насосной установки путем создания перспективной, многоскоростной механической КПП с дистанционным управлением.

Исходные данные для разработки силового агрегата насосной установки:

- состав насосной установки: ДВС, силовой агрегат, узел гидронасоса;

- эффективная мощность ДВС до 2206 кВт (3000 л.с.), $n=1800 \text{ мин}^{-1}$;

- параметры гидронасоса: $p_{\max}=105 \text{ МПа}$; $n_{\max}=300 \text{ мин}^{-1}$;

– принцип управления частотой вращения вала гидронасоса: через КПП дистанционным переключением передач с примерно равными ступенями без разрыва потока мощности в процессе работы под нагрузкой.

Новизной является техническое предложение к разработке высокооборотной многоскоростной двухпоточной механической КПП с дистанционным переключением передач без разрыва потока мощности с помощью фрикци-

онных устройств с современными металлокерамическими материалами трения на Cu – основе в составе силового агрегата насосной установки, соединенного с ДВС эффективной мощностью до 2206 кВт (3000 л.с.) и узлом гидронасоса $p_{\max}=105$ МПа; $n_{\max}=300$ мин⁻¹ [2; 3].

На рис. 1 показана структурная схема насосной установки для гидроразрыва перемычек пластов нефтяных и газовых изолированных полостей.

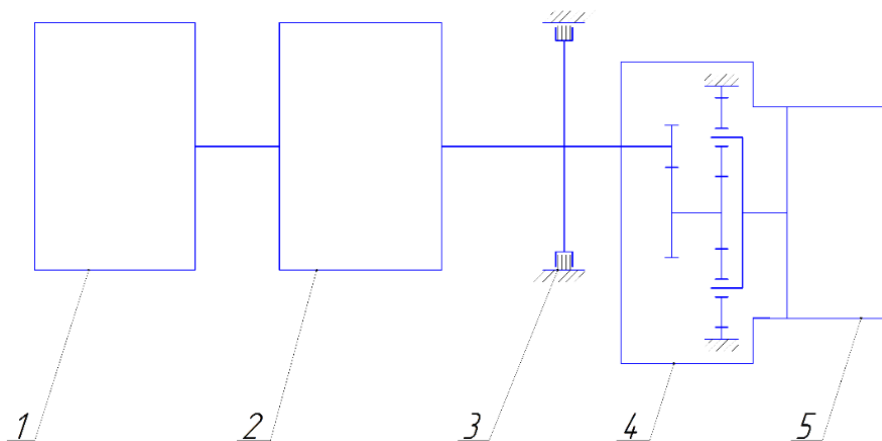


Рис. 1. Структурная схема насосной установки для гидроразрыва перемычек пластов нефтяных и газовых изолированных полостей:

1 – ДВС; 2 – КПП; 3 – ОТ; 4 – цилиндрико-планетарный редуктор узла гидронасоса с передаточным числом $i_{\text{ц}}=1.16$ цилиндрической ступени (межцентровое расстояние 500 мм по компоновке узла гидронасоса), и передаточным числом $i_{\text{п}}=5.5$ планетарной ступени; 5 – гидронасос

На рис. 2 представлена кинематическая схема предлагаемого силового агрегата насосной установки мобильного комплекса гидроразрыва

Дизельный ДВС 1 с эффективной мощностью до 2206 кВт (3000 л.с.), $n=1800$ мин⁻¹, связан через повышающий обороты планетарный редуктор с неподвижной эпициклической шестерней 2 с передаточным числом $i_1=0,25$, выбранным из-за ограничения максимальных оборотов производимых в России подшипников качения, с двухвальной двухпоточной девятискоростной высокооборотной КПП 3 с суммирующим планетарным рядом 4, в котором к эпициклической шестерне 5 подходит основной поток мощности от промежуточного вала 6 КПП 3 через зубчатые пары с цилиндрическими шестернями 7, 8, 9, 10 и фрикционные элементы управления: 11, 12, 13, 14 – фрикционные муфты, 15 – дисковый тормоз низшей передачи (для остановки грузового вала КПП, связанного с эпициклом 5 суммирующего планетарного ряда 4).

К солнечной шестерне планетарного ряда 4 подходит дополнительный поток мощности от промежуточного вала 6 КПП 3 через пару ци-

линдрических шестерен 17, 18 и фрикционную муфту 19. Солнечная шестерня суммирующего планетарного ряда 4 может связываться через шестерни 17, 18 с дисковым тормозом 20 КПП при выключенной фрикционной муфте 19. Фрикционные узлы КПП выполняется с металлокерамическими дисками, например, с материалом на медной основе типа МК-5 [3] или на железной основе типа «Шадеф», работающими в масле, находящемся в картере 16.

Водило 21 суммирующего планетарного ряда 4 связано с ОТ [4] силового агрегата 22 с металлокерамическими накладками на дисках с материалом сухого трения, например, на Fe – основе типа СМК-137 и с понижающим обороты планетарным редуктором 23 с неподвижной эпициклической шестерней и с передаточным числом $i_2=4$, выходное звено которого через шарнирную связь 24 соединено через цилиндрико-планетарный редуктор с гидронасосом с максимальным давлением рабочей жидкости до 105 МПа. Цилиндрико-планетарный редуктор встроен в узел гидронасоса, а валы КПП по компоновке узла расположены горизонтально.

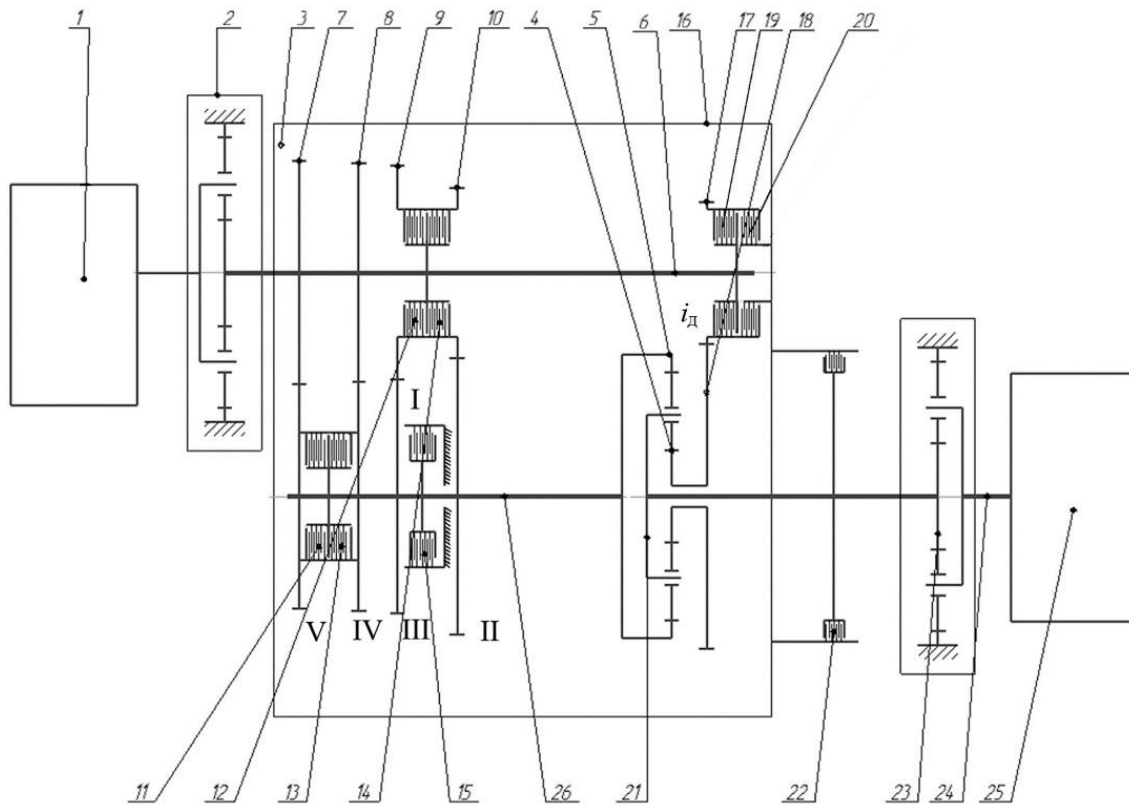


Рис. 2. Кинематическая схема силового агрегата насосной установки с высокооборотной двухвальной двухпоточной механической КПП:

1 – дизельный ДВС; 2 – повышающий обороты планетарный редуктор; 3 – девятиступенчатая КПП; 4 – солнечная шестерня суммирующего планетарного ряда; 5 – эпициклическая шестерня суммирующего планетарного ряда; 6 – промежуточный (входной) вал КПП; 7...10 – зубчатые пары с цилиндрическими шестернями основного потока мощности; 11...14 – фрикционные муфты основного потока мощности; 15 – тормоз низшей передачи; 16 – картер КПП; 17, 18 – пара цилиндрических шестерен дополнительного потока мощности; 19 – фрикционная муфта дополнительного потока мощности; 20 – тормоз КПП; 21 – водило суммирующего планетарного ряда; 22 – остановочный тормоз; 23 – понижающий обороты планетарный редуктор; 24 – карданная связь; 25 – узел гидронасоса со встроенным цилиндро-планетарным редуктором; 26 – грузовой вал КПП

Работает силовой агрегат следующим образом. При всех выключенных фрикционных элементах управления силовой поток от ДВС 1 не передается гидронасосу 25. В этом состоянии можно пользоваться ОТ 22 силового агрегата для его для его выключения и остановки. Для включения основной передачи в КПП 3 включаются два фрикционных элемента управления: один в основном потоке и один в дополнительном потоке мощности – две фрикционные муфты или одна фрикционная муфта в основном потоке мощности и дисковый тормоз 20 КПП в дополнительном потоке мощности при включении замедленной передачи. Переключение всех девяти передач (5 основных и 4 замедленных) производится без разрыва потока мощности дистанционно с использованием фрикционных устройств, работающих в масле. Передаточное число на первой (I) передаче при остановленном грузовом вале 26 КПП определяется по формуле $i_1 = i_d \cdot (1 + K)$, где i_d – пере-

даточное число привода к солнечной шестерне 4 суммирующего планетарного ряда; K – параметр суммирующего планетарного ряда КПП (внутреннее передаточное число).

Передаточные числа на второй (II) ÷ пятой (V) передачах в КПП определяются по формуле

$$i_{II-V} = i_d \cdot i_{K_i} \frac{(1 + K)}{i_{K_i} + i_d K},$$

где i_{K_i} – передаточное число цилиндрической пары шестерен основного потока мощности к эпициклической шестерне 5 суммирующего планетарного ряда на i -й передаче.

Передаточные числа на второй (II) ÷ пятой (V) замедленных передачах в КПП определяются по формуле $i_{(II-V)зам} = i_{K_i} \frac{(1 + K)}{K}$.

Коэффициент распределения момента между эпициклом и солнечной шестерней суммирующего планетарного ряда КПП на i -й передаче (доля мощности от ДВС, передаваемая со-

ответственно основным потоком) определяется

$$\text{по формуле } \beta = \frac{i_d K}{i_{K_i} + i_d K}.$$

В приведенных формулах i – отношение частоты вращения ведущих элементов привода к частоте вращения ведомых элементов.

Так как КПП высокооборотная – свыше 7000 мин⁻¹ на ее элементах по условию работы подшипников качения, то она имеет фрикционные элементы управления с пониженными нагрузочными показателями, что обеспечивает ее надежную работу при использовании ДВС большой мощности. Компактный механический силовой агрегат насосной установки имеет высокий КПД, конструктивно прост, надежен в работе, повышает производительность агрегата насосной установки за счет мощного дизельного ДВС и гидронасоса с высоким максимальным давлением рабочей жидкости.

УДК 681.532.6

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-58-61

Д. С. Лопушков, Е. С. Лопушкова, А. М. Макаров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Представлены результаты разработки и моделирования пневматического модуля автоматизированного лечебно-оздоровительного устройства. Пневматический модуль представляет собой вертикально-ориентированные пальцеобразные полые пневматические камеры, оборудованные датчиками и исполнительными элементами, что позволяет регулировать температуру и давление внутри модуля. Результаты моделирования подтверждают его работоспособность.

Ключевые слова: лечебно-оздоровительное устройство, пневматический модуль, моделирование, регулирование, температура, давление.

D. S. Lopushkov, E. S. Lopushkova, A. M. Makarov

SIMULATION OF A PNEUMATIC MODULE OF AN AUTOMATED THERAPEUTIC DEVICE

Volgograd State Technical University

The results of the development and modeling of the pneumatic module of an automated therapeutic device were presented. The pneumatic module is a vertically oriented finger-shaped hollow pneumatic chambers equipped with sensors and actuators, which allows you to adjust the temperature and pressure inside the module. The simulation results confirm its operability.

Keywords: therapeutic device, pneumatic module, modeling, regulation, temperature, pressure.

В медицинских и профилактических учреждениях к лечебно-оздоровительным устройствам часто предъявляются особые требования, связанные с необходимостью выполнения дополнительных функций при уходе за тяжелыми

и лежачими больными [1]. Также в последние годы повышаются требования к комфорту и функциональности подобных устройств. Актуальной проблемой существующих автоматизированных лечебно-оздоровительных [напри-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Установка для гидроразрыва пластов СИН31.75 // Каталог продукции. Завод нефтегазового машиностроения Синергия. С. 26. URL: <https://www.sinergia.ru/upload/files/catalog.pdf> (дата обращения: 28.04.2022).
2. Труханов, В. М. К вопросу разработки двухпоточного механизма поворота для легких гусеничных машин / В. М. Труханов, Ю. И. Крыхтин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014, № 10. – С. 29–34.
3. Труханов, В. М. Разработка высоконадежных фрикционных узлов трансмиссии с двухпоточным четырехвальным механизмом передач и поворота для легких транспортных гусеничных машин / В. М. Труханов, Ю. И. Крыхтин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015, № 7. – С. 22–26.
4. Крыхтин, Ю. И. Разработка дисковых остановочных тормозов с металлокерамическими дисками в трансмиссиях гусеничных машин и математическая модель нагружения фрикционного материала / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2019, Т. 20, № 1. – С. 13–17.

мер, 1 – 3] устройств является сложность конструкции, а также достаточно высокая стоимость, обусловленная большим количеством дорогостоящего оборудования, отсутствие датчиков контроля давления воздуха внутри ячейки/зоны; отсутствие возможности автоматически регулировать жесткость и изменять форму поверхности; отсутствие возможности измерять и регулировать температуру поверхности для

оказания дополнительного теплового воздействия на тело человека и др. С целью устранения указанных недостатков было разработано лечебно-оздоровительное устройство, исполнительным модулем которого является матрица пневматических камер [4; 5].

Разработанное лечебно-оздоровительное устройство (рис. 1) состоит из исполнительного механизма 1 и системы управления 2.

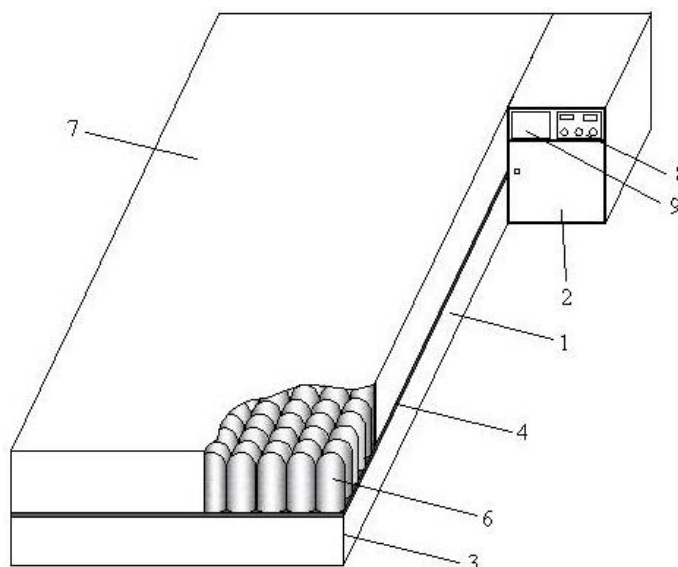


Рис. 1. Общий вид лечебно-оздоровительного устройства

Исполнительный механизм 1 содержит корпус 3, жесткую несущую панель 4 с отверстиями 5, на которой установлена система периодически расположенных исполнительных элементов 6 (рис. 2) в виде двумерной матрицы, обтянутой сверху эластичным материалом 7. Система управления имеет внешние устройства ввода-вывода: панель управления 8 и дисплей 9. Исполнительные элементы 6 представляют собой вертикально ориентированные пальцеобразные полые пневматические камеры, имеющие основания 10, боковые стенки 11 и рабочие площадки 12.

В качестве исполнительного элемента был выбран пневматический модуль, представленный на рис. 2.

В основании 10 имеется отверстие 13 с гибкой трубкой 14, связанной с электропневматическим распределителем 15, расположенным в корпусе 3 под несущей панелью 4. На основании 10 пневматической камеры установлен датчик давления 16 и датчик расстояния 17, который позволяет определять расстояние между основанием 10 и рабочей площадкой 12 исполнительного элемента 6 (может быть выполнен,

например, в виде ультразвукового или оптического датчика). Датчик расстояния 17 находится внутри пружины 18, соединяющей основание 10 и рабочую площадку 12, и обтянутой эластичным непрозрачным материалом 19. Такое расположение датчика расстояния 17 защищает его от внешних воздействий и посторонних препятствий, что позволяет повысить точность измерения. Под рабочей площадкой 12 исполнительного элемента 6 установлен датчик температуры 20 и нагревательный элемент 21. Под несущей панелью 4 в корпусе 3 размещены подводящие каналы высокого давления 22, связанные с ресивером 23 компрессора 24, а также проложены электрические кабели 25, связывающие датчики давления 16, датчики расстояния 17 и датчики температуры 20 с входами системы управления 2, а электропневматические распределители 15 и нагревательные элементы 21 – с выходами системы управления 2. Электропневматический распределитель 15 может находиться в трех положениях: крайнее левое положение (как показано на рис. 2), когда каналы электропневматического распределителя 15 связывают канал высокого

давления 22 и исполнительный элемент 6 в виде пневматической камеры через гибкую трубку 14, среднее положение, когда все каналы пневматического распределителя 15 перекрыты, и крайнее правое положение – когда каналы пневматического распределителя 15 связывают исполнительный элемент 6 с атмосферой. В различных модификация устройства, датчик давления 16 может быть установлен только

в некоторых пневматических камерах, в зависимости от количества массируемых зон, или может быть вмонтирован непосредственно в канал высокого давления 21. Кроме того в некоторых исполнениях устройства несколько исполнительных элементов 6, предназначенных для массирования одной зоны тела человека, могут управляться от одного пневматического распределителя 15.

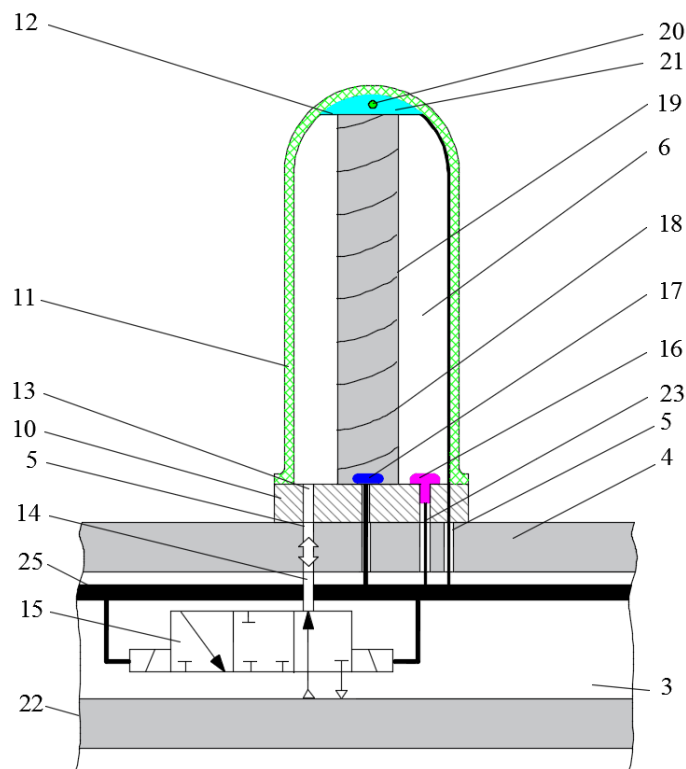


Рис. 2. Общий вид исполнительного модуля в виде пневматической камеры

Для установления взаимосвязей между параметрами входного и выходного отверстия пневматической камеры и скоростью ее наполнения и спуска разработана математическая модель, описывающая пневматическую камеру, наполненную воздухом при заданных начальных условиях в данный момент времени с учетом температуры:

$$\begin{cases} G_{ucx}(t) = f_{ucx} p(t) \sqrt{\frac{2}{RT} \ln \frac{p(t)}{p_2}} \\ G_{ex}(t) = f_{ex} p_0 \sqrt{\frac{2}{RT} \ln \frac{p_0}{p(t)}} \\ p(t) = K_{сж.в.} \frac{m(t)RT}{MV(t)} \\ V(t) = S_{нов} z(t) \end{cases},$$

где $G_{ex}(t)$ – массовый расход воздуха, поступающего в воздушную подушку; $G_{ucx}(t)$ – мас-

совый расход воздуха, исходящего из воздушной подушки; m_0 – масса воздуха, находящегося в воздушной подушке в начальный момент времени в воздушной камере. $p_0(t)$ – давление воздуха на входе в питающее сопло f_{ucx} – площадь выходного сечения канала подачи воздуха в воздушную подушку; $p_1'(t)$ – давление воздуха на выходе из воздушной прослойки; R – газовая постоянная; T – температура воздуха в воздушной камере; $f_{ex} = \frac{\pi d_c^2}{4}$ – суммарная площадь сечения канала подачи воздуха в воздушную подушку; d_c – диаметр питающего сопла; p_{0max} – максимальное давление питания; α_1 – коэффициент падения давления воздуха на периферии воздушной прослойки, по отношению к среднему давлению $p_1(t)$ в воздушной прослойке.

Массовый расход воздуха рассчитывался при изотермическом истечении. При выводе математической модели были сделаны следующие допущения:

- характер истечения воздуха из сопла питания воздушной подушки принят изотермическим;
- ударной силой действия струи сжатого воздуха можно пренебречь;

– постоянная времени изменения давления по площади воздушной подушки можно пренебречь.

Чтобы проанализировать распределение потоков воздуха внутри пневматической камеры и температуры при различных параметрах нагревательного элемента, проведено компьютерное моделирование пневмокамеры в программе *Solid Works Flow Simulations* (рис. 3).

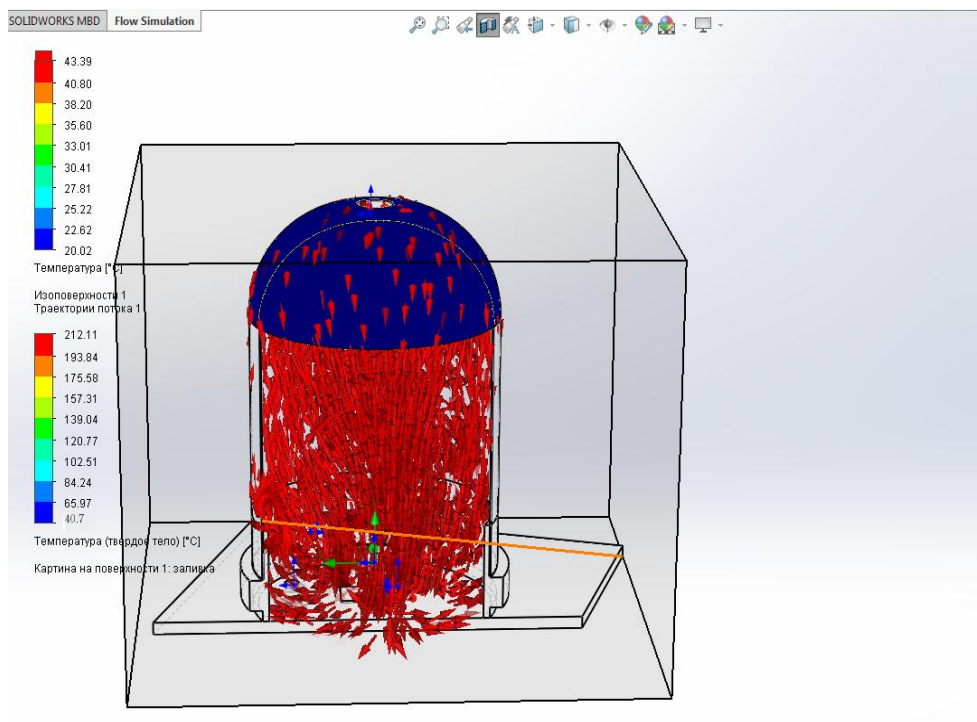


Рис. 3. Моделирование системы в Solid Works Flow Simulations

Результаты моделирования показывают, что температура поверхности камеры при работе на мощности нагревателя 5 Вт равна 40,7 °С. Если температура окружающей среды будет выше 20 °С, выбранный нагревательный элемент полностью справиться со своей функцией.

Результаты моделирования показывают работоспособность разработанного пневматического модуля с функцией автоматического поддержания заданной температуры.

Использование результатов исследования при разработке и эксплуатации автоматизированных лечебно-оздоровительных устройств позволяет повысить функциональные возможности подобных устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент 2236211 РФ, МПК А 61 Н 9/00. Лечебно-оздоровительное устройство / И. Н. Роганин, В. А. Елкин ; заявл. 07.10.2002 ; опубл. 20.09.2004.
2. Пат. 83 898 Российская Федерация, МПК А47С 21/04. Матрас с регулируемым термообогревом / Г. В. Анцев, Е. Л. Сивкова, А. Д. Шекоян, С. А. Яшин, заявитель и патентообладатель ОАО «Научно-производственное предприятие "Радар ммс"» – 2009104231/22 ; заявл. 09.02.2009 ; опубл. 27.06.2009.
3. П.м. № 152344 РФ, МПК А61G7/057. Лечебно-оздоровительное устройство / А. М. Макаров, И. В. Волков, А. А. Чикова ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – 2014105075/12 ; заявл. 11.02.2014 ; опубл. 20.05.2015. Бюл. № 14.
4. П.м. № 162392 РФ, МПК А61G7/057. Лечебно-оздоровительное устройство / А. М. Макаров, И. В. Волков, Е. С. Чеснокова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – 2015150405/12 ; заявл. 24.11.2015 ; опубл. 10.06.2016. Бюл. № 16.
5. Адаптивное лечебно-оздоровительное устройство с переменной жесткостью / А. А. Чикова, Е. С. Чеснокова, И. В. Волков, А. М. Макаров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (156) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 74–76.

УДК 67.05

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-62-65

*А. С. Панюлайтис, Г. Н. Овчинников, И. В. Волков, А. М. Макаров***ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ВЫСОКОТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
РАСХОДА ЖИДКОСТНЫХ КОМПОНЕНТОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Разработана автоматизированная система для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов. Представлена схема и описание данного устройства, а также принцип его работы. Проведена серия опытов по замеру точности дозирования жидкостей с различной вязкостью, плотностью и оптической проницаемостью. Анализ полученных результатов подтвердил работоспособность разработанной системы.

Ключевые слова: расходомер, высокоточное регулирование жидкости, контроля малых расходов жидкости, нефтехимическая промышленность, оптическая скамья.

*A. S. Panyulaitis, G. N. Ovchinnikov, I. V. Volkov, A. M. Makarov***INVESTIGATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR HIGH-PRECISION
FLOW CONTROL OF LIQUID COMPONENTS****Volgograd State Technical University**

The design of the automated system for high-precision flow control of liquid components has been developed. The diagram and description of this device, as well as the principle of its operation, are presented. A series of experiments on measuring the dosing accuracy with different viscosity, density and optical permeability was carried out. The analysis of the obtained results confirmed the operability of the developed system.

Keywords: flow meter, high-precision liquid regulation, control of low liquid flow rates, petrochemical industry, optical bench.

В настоящее время в химической, нефтехимической, лакокрасочной промышленности, клинико-диагностических лабораториях и в области 3D-печати существуют готовые устройства, позволяющие осуществлять точное регулирование расхода веществ, а также определять вязкость отобранных проб механическим методом. Обычно такие устройства не совмещают в себе возможность одновременного измерения физико-механических параметров жидкости и ее дозирования.

От точности дозирования, измерения и контроля таких параметров зависит качество продукции, качество медицинских и лабораторных исследований. В связи с этим, для эффективно-го высокоточного контроля малых расходов жидкости требуются специализированные средства измерения, позволяющие осуществлять контроль над процессом дозирования малых расходов жидкости. Бесконтактный метод измерения – один из наиболее приемлемых способов измерения при работе с ядовитыми и химически активными веществами.

На сегодняшний день вопрос разработки системы высокоточного регулирования, позволяющей производить контроль малых расходов

жидкости и измерение необходимых параметров вещества является наиболее актуальным.

Согласно проведенному обзору и анализу технической и патентной литературы по существующим устройствам порционного дозирования, регулирования и измерения расхода жидкости можно сделать вывод, что не все рассмотренные устройства удовлетворяют вышеуказанным требованиям [1; 2].

Для решения задачи измерения и контроля малых расходов жидкости бесконтактным методом, отталкиваясь от уже существующих устройств и патентов [1; 3; 4], была разработана конструкция автоматизированной системы высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов, 3D-модель которой представлена на рис. 1, а. Описание основных элементов системы представлено на рис. 1, б и в [5].

В основе устройства лежит принцип, изложенный в патенте на полезную модель [3]. Измерительный модуль представляет собой оптическую скамью, состоящую из двух направляющих 1, жестко закрепленных при помощи специальных креплений 2 на кронштейнах 3, и установленные на ней элементы, необходимые для измерительного процесса.

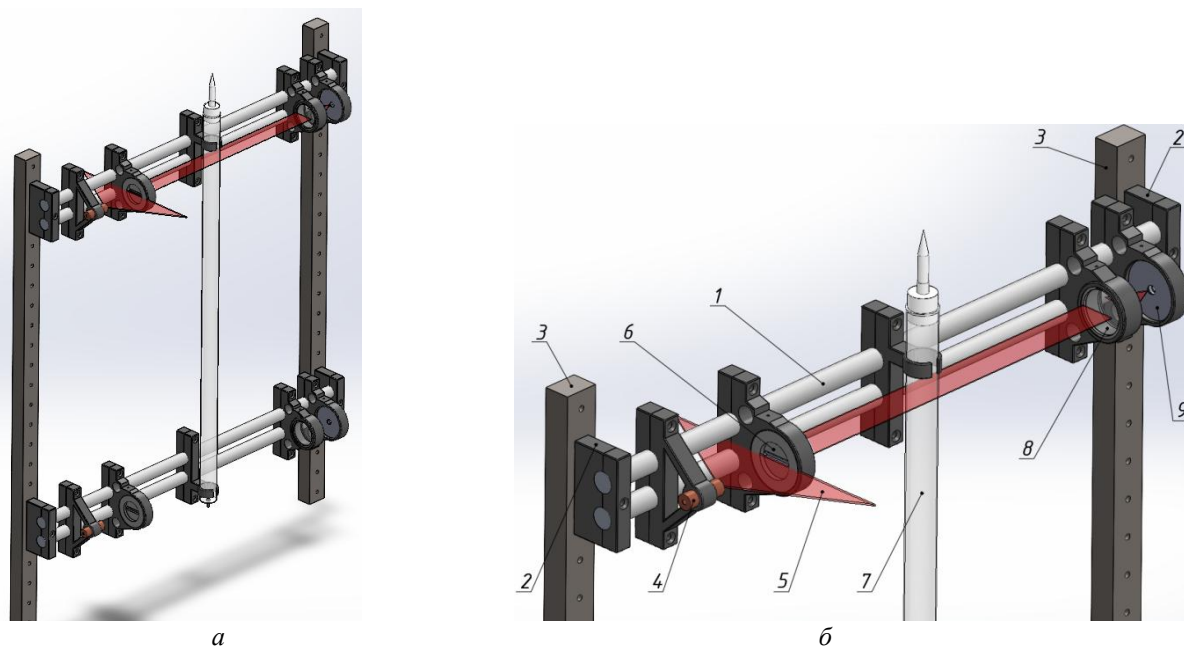


Рис. 1. 3D-модель системы высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов:
 а – общий вид 3D-модели; б – оптическая скамья с элементами измерительного модуля

Устройство работает следующим образом. В специальном креплении устанавливается источник оптического излучения 4 (полупроводниковый лазерный модуль с системой фокусировки), который формирует измерительную плоскость 5. Далее, данная плоскость проходит через щелевой оптический фильтр 6, который преобразует эту плоскость в более тонкую, что необходимо для высокоточного измерения расхода жидкостных компонентов. Преобразованная плоскость проходит через измерительную колбу 7, закрепленную перпендикулярно измерительной плоскости, в которой непосредственно происходит процесс измерения. Затем лазерная плоскость достигает собирающей линзы 8, установленной в оправе и зафиксированной на оптической скамье при помощи специального крепления. При прохождении данной линзы лазерное излучение в виде измерительной плоскости преобразуется в световой поток в виде точки, который в свою очередь падает на фотодатчик (фототранзистор) 9. Полученный фотодатчиком сигнал затем преобразовывается при помощи АЦП.

Для замера расхода жидкости капля «оцифровывается» во время ее свободного падения и пролета через измерительную плоскость. После

чего производится обработка данных и вносится поправочный коэффициент, характеризующий величину поглощения света жидкостью, что позволяет вычислить объем капли.

Для проведения экспериментальных исследований разработана лабораторная установка (рис. 2), которая включает измерительный модуль, связанный с блоком управления и ноутбуком (средство отображения и обработки информации), образцы жидкостей, смеситель, механические регуляторы расхода, сервомеханизм для автоматического регулирования расхода, резервуар для жидкости и тензометрический датчик для определения ее массы.

Была проведена серия опытов по исследованию жидкостей с различной вязкостью, плотностью и оптической проницаемостью. Для проведения опытов использовалось четыре жидкости: физраствор, физраствор с красителем, глицерин со спиртом, глицерин со спиртом и красителем. Чистый физраствор и физраствор с красителем имели одинаковые физические параметры, такие как плотность, вязкость и т.д., за исключением оптической проницаемости.

На основе анализа результатов экспериментальных исследований получен график, представленный на рис. 3.

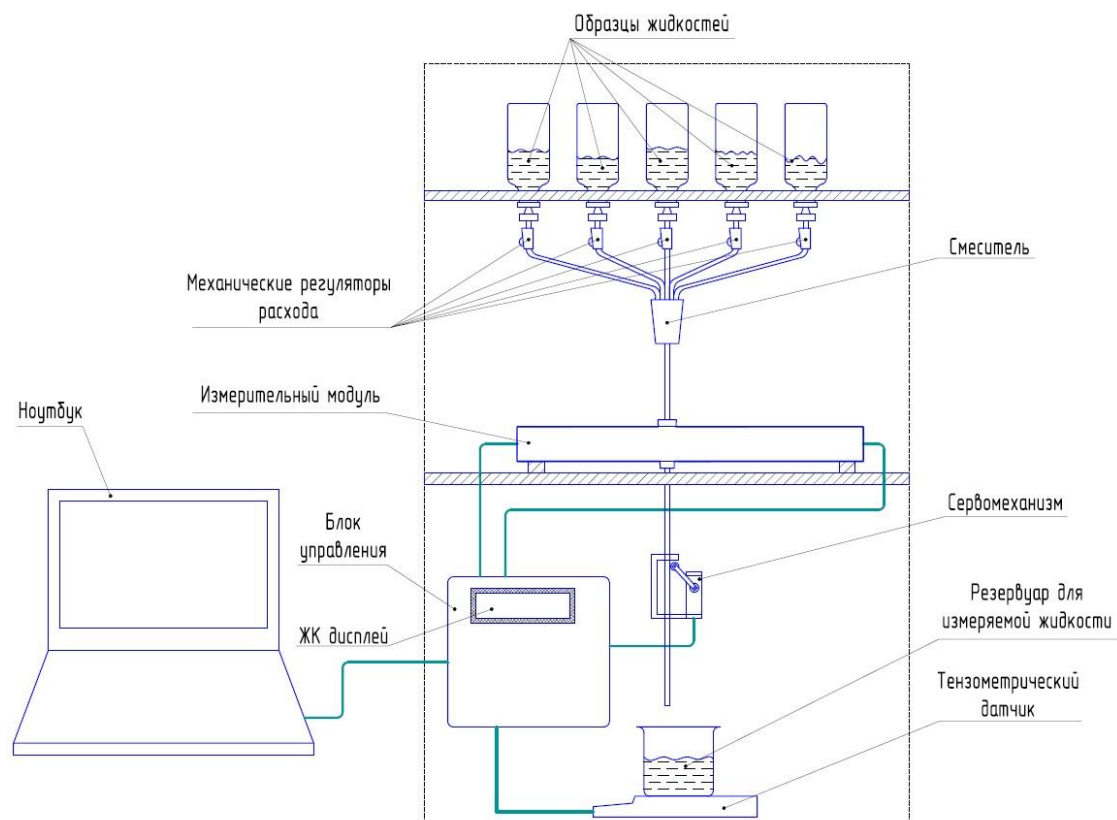


Рис. 2. Схема лабораторной установки

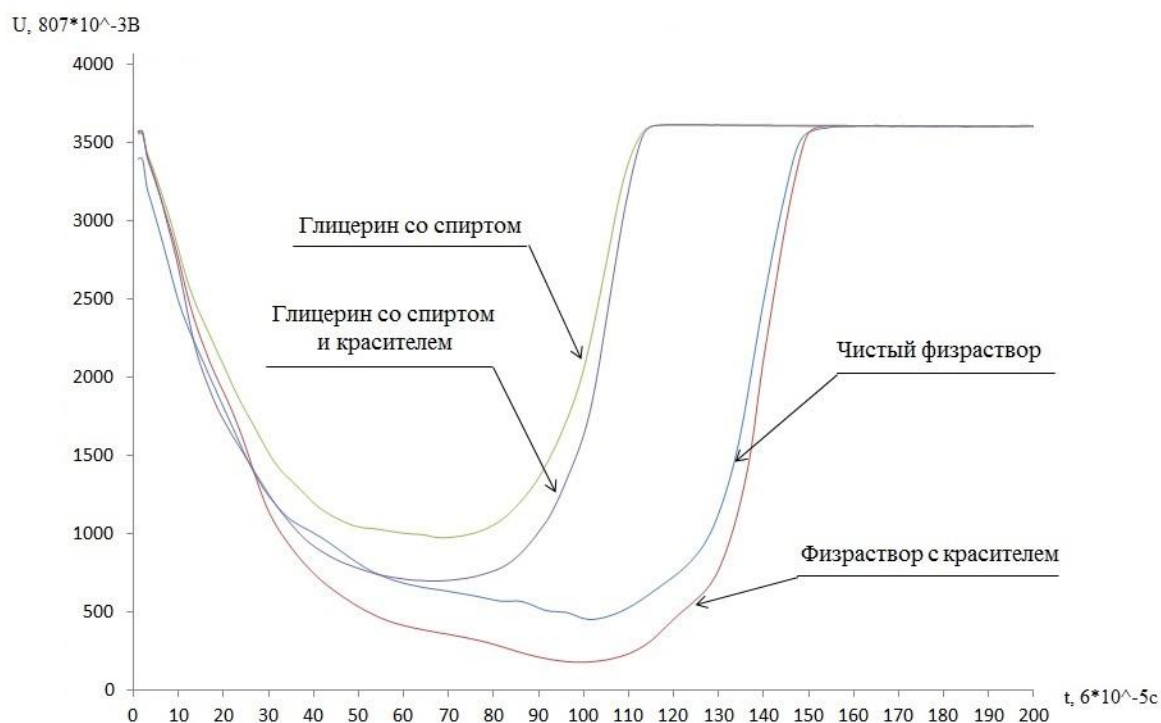


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований

Графики достаточно наглядно отображают форму и размер капель разных жидкостей с различными параметрами. Из-за различного

поверхностного натяжения капля глицерина срывается с каплеобразователя быстрее и, соответственно, имеет меньший объем. При этом

капля глицерина, имеющая гораздо большую динамическую вязкость, медленнее перестраивается в шар после отрыва от каплеобразователя, чем капля физраствора, что отражается на графике более пологой формой кривой.

На основе проведенных экспериментов можно сделать выводы, что приведенное значение площади графика, учитывающее влияние коэффициента преломления для различных жидкостей, позволяет судить о расходе жидкости, при наличии базы данных жидкостей, позволяет определить ее тип по форме полученного графика.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке автоматизированных систем регулирования расхода жидкостных компонентов, обладающих функцией определения физико-механических параметров жидкости в ходе ее дозирования в реальном времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. 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.
3. Пат. 163969 Российская Федерация. Устройство для автоматического регулирования малых расходов жидкости / И. В. Волков, А. М. Макаров, В. М. Гладков; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2015150416/28; заявл. 24.11.15; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 8.
4. Высокоточное измерение и регулирование малого расхода жидкости / А. М. Макаров, И. В. Волков, О. С. Харькин [и др.] // Измерительная техника. – 2018. – № 1. – С. 28–31.
5. Разработка системы для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов А. С. Панюлайтис, Г. Н. Овчинников, И. В. Волков, А. М. Макаров // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (267) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 78–80.

УДК 001.51:621–023

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-65-69

С. Г. Поступаева, А. А. Яковлев, Н. В. Федорова

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ АВТОНОМНОГО ЛОКОМОТИВА С ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: posvetlana@mail.ru

В статье рассматривается применение инженерно-физического метода поискового конструирования автономного локомотива, имеющего паросиловую энергетическую установку, 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, локомотив.

S. G. Postupaeva, A. A. Yakovlev, N. V. Fedorova

BUILDING A MODEL OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF OPERATION OF AN AUTONOMOUS LOCOMOTIVE WITH STEAM POWER UNIT

Volgograd State Technical University

The article discusses the application of the engineering-physical method of search design of an autonomous locomotive with a steam power plant at the stage of building a model of the physical principle of operation. The resulting model of the device allows you to display the movement of the working fluid in space and its physical interaction in time.

Keywords: search design, engineering-physical method, model of the physical principle of action, locomotive.

В настоящее время процесс разработки новых конструкций технических систем является достаточно сложной и трудоемкой задачей для инженеров-конструкторов. Обеспечить существ-

венное повышение производительности труда на начальных, творческих этапах проектирования позволяют различные методы поискового конструирования. Одним из эффективных ме-

тодов автоматизированного синтеза новых технических решений выступает инженерно-физический подход, предложенный д.т.н., профессором А. А. Яковлевым [1]. Данный метод хорошо себя зарекомендовал при проектировании различных конструкций для подачи смазочно-охлаждающих технологических средств в зону резания станков [2; 3], технологических лазеров на углекислом газе [4].

В основе инженерно-физического метода лежит определение физического принципа действия (ФПД) будущего устройства. Благодаря полученной модели ФПД разрабатывается структура устройства и осуществляется подбор функциональных элементов для его дальнейшей конструктивной реализации.

В данной статье покажем применение ин-

женерно-физического метода поискового конструирования локомотивов, имеющих паросиловую энергетическую установку, на этапе построения модели ФПД.

На основе анализа конструктивных особенностей локомотива с паросиловой установкой [5] была составлена его структурная схема (рис. 1). Из этой схемы видно, что в структуре локомотива можно выделить четыре укрупненные подсистемы: 1) источник энергии (представляет собой совокупность двух функциональных модулей парового котла (ФМ₁) и топочной камеры (ФМ₂)); 2) потребитель энергии (колесная пара); 3) паровая машина (состоит из парораспределительного механизма, паровых цилиндров (ФМ₄), дымовой трубы (ФМ₃)); 4) система питания котла (инжектор (ФМ₅)).

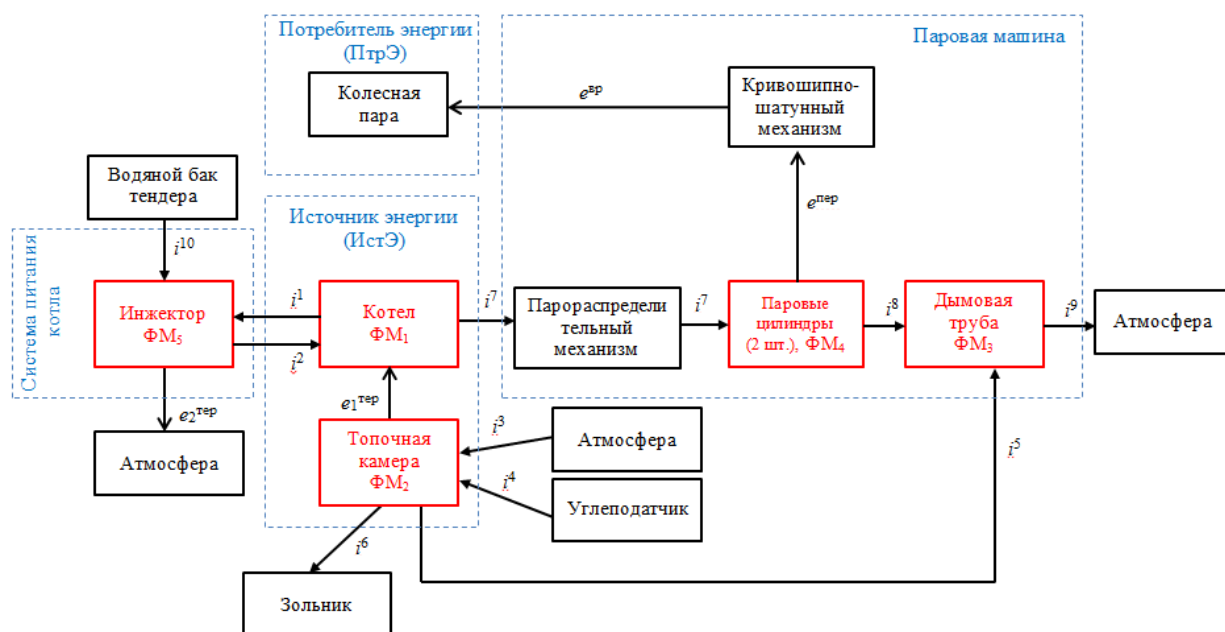


Рис. 1. Структурная схема локомотива:

i^1 – поток пара; i^2 – поток подогретой воды; i^3 – поток воздуха; i^4 – поток угля; i^5 – поток газа; i^6 – поток шлака и золы; i^7 – поток перегретого пара; i^8 – поток отработанного пара; i^9 – поток газа с отработанным паром; i^{10} – поток холодной воды; $e_1^{тер}$ – нагрев котла; $e_2^{тер}$ – охлаждение инжектора; $e^{пер}$ – перемещение поршня парового цилиндра; $e^{вр}$ – преобразование возвратно-поступательного движения поршня цилиндра во вращение колес

Для каждого выделенного функционального модуля 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 подводится или отводится потоки экстенсоров [6].

В качестве примера на рис. 2 изображена

модель ФПД для функциональных модулей ФМ₁ – паровой котел (рабочее тело v^1 – пар, рабочее тело v^2 – вода); ФМ₂ – топочная камера (рабочее тело v^3 – газ, рабочее тело v^4 – уголь); ФМ₃ – дымовая труба (рабочее тело v^{10} – отработанный пар, рабочее тело v^{11} – смесь газа с отработанным паром).

Описание всех элементов модели ФПД для функциональных модулей ФМ₁, ФМ₂, ФМ₃ представлено в табл. 1, 2, 3 соответственно.

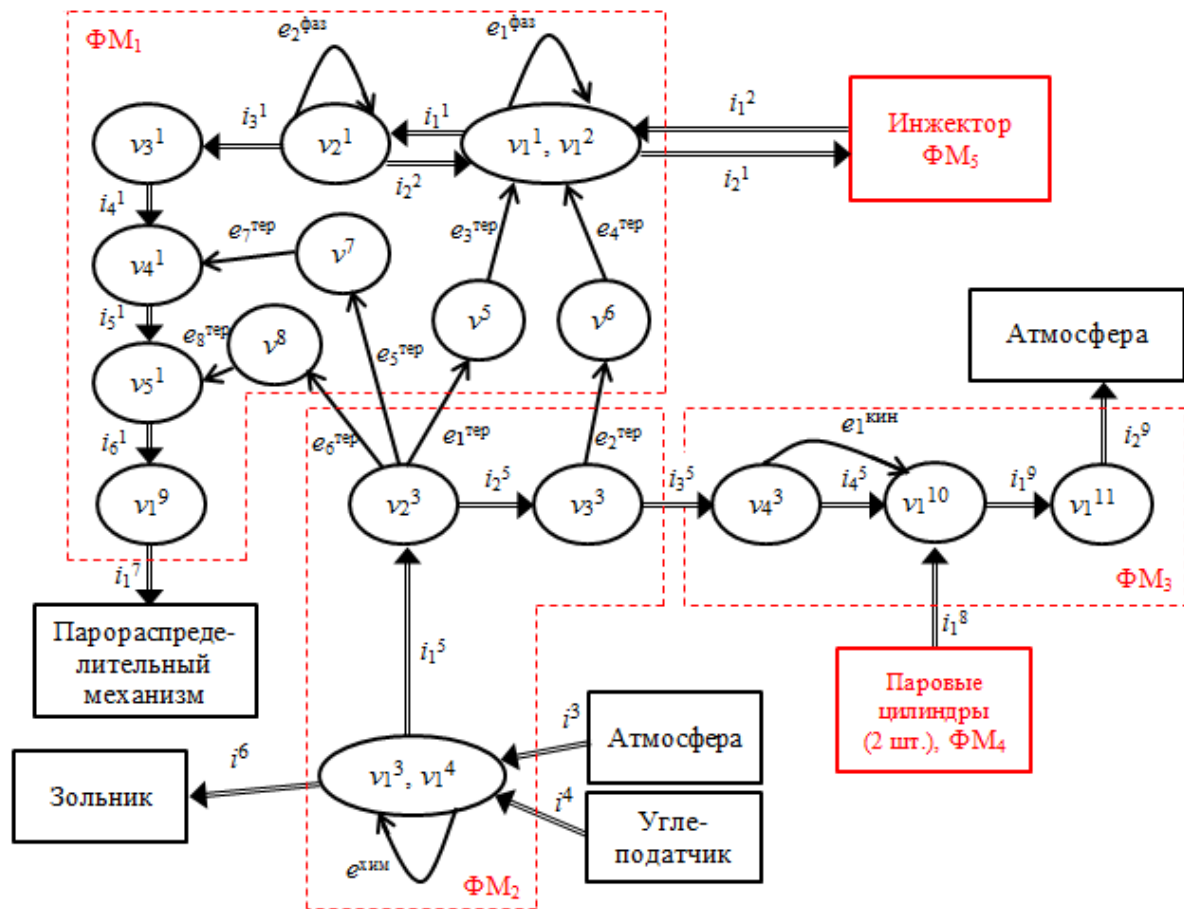


Рис. 2. Модель ФПД для функциональных модулей ФМ₁, ФМ₂, ФМ₃

Таблица 1

Описание элементов модели ФПД для ФМ₁

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
v_1^1	Характерная точка	Пар в рабочей камере котла
v_2^1	То же	Насыщенный пар в сухопарнике
v_3^1	—//—	Насыщенный пар в камере насыщенного пара пароперегревателя
v_4^1	—//—	Пар в трубе пароперегревателя прямого хода
v_5^1	—//—	Пар в трубе пароперегревателя обратного хода
v_1^2	—//—	Вода в рабочей камере котла
v^5	—//—	Стенки жаровой трубы
v^6	—//—	Стенки дымогарной трубы
v^7	—//—	Стенки трубы пароперегревателя прямого хода
v^8	—//—	Стенки трубы пароперегревателя обратного хода
v_1^9	—//—	Перегретый пар в камере перегретого пара пароперегревателя
i_1^1	Маршрутная дуга	Поток пара из рабочей камеры котла в сухопарник
i_2^1	То же	Поток пара из рабочей камеры котла в инжектор
i_3^1	—//—	Поток насыщенного пара из сухопарника в камеру насыщенного пара пароперегревателя
i_4^1	—//—	Поток пара из камеры насыщенного пара в трубку прямого хода пароперегревателя

Окончание табл. 1

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
i_5^1	—//—	Поток пара из трубки прямого хода в трубку обратного хода пароперегревателя
i_6^1	—//—	Поток пара из трубки обратного хода в камеру перегретого пара пароперегревателя
i_1^2	—//—	Поток подогретой воды из инжектора в рабочую камеру котла
i_2^2	—//—	Поток воды из сухопарника в рабочую камеру котла
i_1^7	—//—	Поток перегретого пара из пароперегревателя в парораспределительный механизм
$e_1^{\text{тер}}$	Взаимодействие	Нагрев стенок жаровой трубы газом из топочной камеры
$e_2^{\text{тер}}$	То же	Нагрев стенок дымогарной трубы газом из топочной камеры
$e_3^{\text{тер}}$	—//—	Тепловое взаимодействие стенок жаровой трубы с рабочей камерой котла
$e_4^{\text{тер}}$	—//—	Тепловое взаимодействие стенок дымогарной трубы с рабочей камерой котла
$e_5^{\text{тер}}$	—//—	Нагрев стенок трубы прямого хода пароперегревателя газом из жаровой трубы
$e_6^{\text{тер}}$	—//—	Нагрев стенок трубы обратного хода пароперегревателя газом из жаровой трубы
$e_7^{\text{тер}}$	—//—	Тепловое взаимодействие стенок трубы прямого хода пароперегревателя с паром
$e_8^{\text{тер}}$	—//—	Тепловое взаимодействие стенок трубы обратного хода пароперегревателя с паром
$e_1^{\text{фаз}}$	—//—	Фазовое взаимодействие рабочих тел (переход воды из жидкого состояния в парообразное)
$e_2^{\text{фаз}}$	—//—	Фазовое взаимодействие рабочих тел (переход пара в жидкое состояние)

Таблица 2

Описание элементов модели ФПД для ФМ₂

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
v_1^3	Характерная точка	Газ в топочной камере
v_2^3	То же	Газ в жаровой трубе
v_3^3	—//—	Газ в дымогарной трубе
v_1^4	—//—	Уголь в топочной камере
i^3	Маршрутная дуга	Поток воздуха в топочную камеру из атмосферы
i^4	То же	Поток угля из углеподатчика в топочную камеру
i_1^5	—//—	Поток газа из топочной камеры в жаровую трубу
i_2^5	—//—	Поток газа из жаровой трубы в дымогарную
i_3^5	—//—	Поток газа в сопло дымовой камеры
i^6	—//—	Отвод шлака и золы в зольник
$e^{\text{хим}}$	Взаимодействие	Сжигание топлива

Таблица 3

Описание элементов модели ФПД для ФМ₃

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
v_4^3	Характерная точка	Газ в сопле дымовой камеры
v_1^{10}	То же	Отработанный пар из паровых цилиндров в сопле дымовой камеры
v_1^{11}	—//—	Отработанный пар с газом в дымовой трубе
i_4^5	Маршрутная дуга	Поток газа через сопло дымовой камеры
i_1^8	То же	Поток отработанного пара
i_1^9	—//—	Поток газа с отработанным паром
i_2^9	—//—	Отвод газа с отработанным паром в атмосферу
$e_1^{\text{кин}}$	Взаимодействие	Процесс передачи кинетической энергии рабочей среды (поток газа из дымогарной трубы) подсосываемой среде (отработанный пар из цилиндров)

Из приведенного примера построения модели ФПД следует, что такой подход позволяет учитывать передвижение рабочего тела между элементами системы, последовательность и длительность взаимодействий рабочего тела при работе устройства.

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 новых конструкций локомотивов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователей энергии : монография / А. А. Яковлев; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.
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. Increasing labor productivity in the development of technical systems at the initial stages of design through the formalisation of design procedures / А.А. Яковлев, С.Г. Поступаева, Н.В. Федорова, Е.И. Сутулов // 9th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART-2020) (4th-5th December, 2020): Proceedings / ed.-in-chief: Rakesh Kumar Dwivedi; eds.: A. Kr. Saxena [et al.] ; Faculty of Engineering & Computing Sciences Teerthanker Mahaveer University (Moradabad, India), IEEE UP Section (India). – New Delhi (India), 2020. – P. 262-267.
4. Моделирование физического принципа действия технологических CO₂-лазеров с медленной прокачкой рабочей смеси / Н. В. Федорова, С. Г. Поступаева, В. П. Плотноков, А. А. Яковлев // Академическая наука – проблемы и достижения (Academic science – problems and achievements): материалы XXX междунар. науч.-практ. конф. (Bengaluru, India, 24–25 октября 2022 г.) / Научно-издательский центр «Академический» (spc Academic). – Bengaluru (India): Pothi.com, 2022. – С. 173–177.
5. Тяговый подвижной состав: учеб. пособие / Т. В. Волчек, В. С. Томилов, В. Н. Иванов, О. В. Мельниченко. – Иркутск: ИрГУПС, 2021. – 72 с.
6. Яковлев, А. А. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Построение модели физического принципа действия устройства / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 83–87.

УДК 62-529

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-70-73

*Г. Ю. Прокудин, Н. Г. Шаронов***РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНИЕМ КОМПОНЕНТОВ
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИТЬЕВОЙ УСТАНОВКЕ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: dtm@vstu.ru

Рассматривается задача программного управления дозированием компонентов полимера в автоматизированной литейной установке. Работа нацелена на создание системы управления дозированием и выявление оптимальных алгоритмов подачи полимера для получения наиболее однородной смеси.

Ключевые слова: дозирование, система управления, литейная установка.

*G. Yu. Prokudin, N. G. Sharonov***DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE DOSING
OF COMPONENTS IN AN AUTOMATED INJECTION MOLDING EQUIPMENT****Volgograd State Technical University**

The problem of software control of polymer components dosing in an automated injection molding equipment is considered. The work is aimed at creating a dosing control system and identifying optimal polymer feeding algorithms to obtain the most homogeneous mixture.

Keywords: dosing, control system, injection molding equipment.

Введение

Большинство существующих на рынке иностранных аналогов литейных установок для реактопластов не имеют узла дозирования полимера, и оператор вынужден самостоятельно отмерять компоненты и заливать их в установку, что снижает производительность и повышает вероятность неправильного дозирования, а те установки, которые имеют узел дозирования, не обеспечивают согласованной подачи компонентов

и оборотов смешивания для минимизации коэффициента неоднородности, смешиваемых полимеров. Данная работа нацелена на решение этой проблемы путем разработки узла дозирования и последующего выявления оптимальных алгоритмов подачи полимеров и их смешивания для получения максимально однородной смеси. Апробация автоматизированного дозирования и ее системы управления осуществляется на лабораторной литейной установке ВЛМ-1 рис. 1.

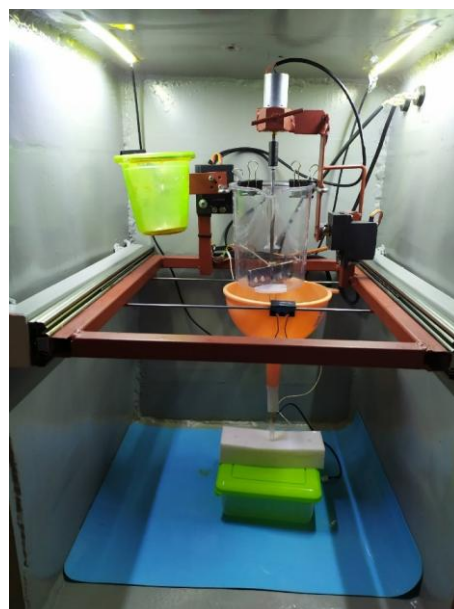


Рис. 1. Лабораторный образец литейной установки для реактопластов

© Прокудин Г. Ю., Шаронов. Н. Г. 2023.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта на реализацию проекта по научным исследованиям, выполняемого магистрантами ВолгГТУ по программе развития ВолгГТУ «Приоритет 2030» № 35/479-22.

В ходе решения поставленной задачи был проведен анализ существующих насосов для перекачки жидкостей и выбран наиболее оптимальный. В качестве перекачивающего компонента насоса был выбран перистальтический (шланговый) насос рис. 2, потому что именно эта конструкция насоса позволяет производить перекачку хим. реагентов без соприкосновения с самим механизмом насоса. Рабочим органом такого насоса является закрепленный на профилированном корпусе 1 шланг из эластичного материала (например, резины или пластмассы) 2. Шланг периодически сжимается обкатываемым роликом 4, и перекачиваемая среда, которой заполнена его внутренняя полость, выжимается. Для бесперебойной подачи среды по шлангу и предупрежде-

ния вытеснения перекачиваемой среды, в держателе 3 закреплено 3 ролика. В результате вращения ротора 4 происходит его сжатие в месте контакта и осуществляется вытеснение среды посредством роликов. Концы шланга крепятся в корпусе насоса или посредством специальных зажимов, с которыми соединяют трубопроводы. Чтобы не допустить быстрого износа, шланг и поверхность корпуса насоса обрабатывают смазкой. Основными параметрами, требующими управления – являются скорость дозирования и объем дозирования. Для определения оптимальных параметров подачи полимеров и смешивания будет создан экспериментальный дозирование, который будет установлен в автоматизированную литьевую установку ВЛМ-1.

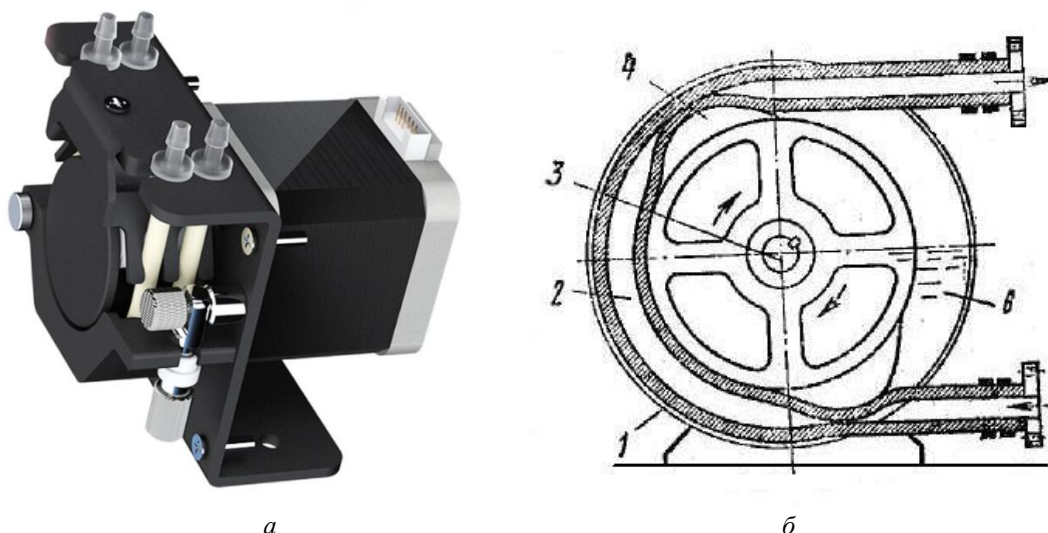


Рис. 2:

а – используемый образец; *б* – конструкция перистальтического насоса

Подача перистальтического насоса будет зависеть от объема витка шланга и частоты вращения ротора:

$$Q = \frac{V_g \cdot n}{60}, \quad (1)$$

где V_g – объем одного полного витка шланга; n – число оборотов ротора насоса в минуту.

В свою очередь частота вращения шагового электродвигателя насоса определяется как:

$$n = \left(\frac{U_{delphi} \cdot 60}{K} \right) / 200, \quad (2)$$

где U_{delphi} – скорость потока в приложении; k – коэф. уравнивающий.

Из чего следует, что контролируя количество оборотов насоса можно отмерять точное ко-

личество подаваемого полимера. В качестве мотора насоса применим шаговый электродвигатель, так как он обладает высокой точностью углового перемещения.

Система управления рис. 3 реализована из двух основных блоков. Первый блок – это плата управления Arduino Mega на базе микроконтроллера ATmega2560, осуществляет управление электрооборудованием литьевой установки посредством релейных модулей и драйверов шаговых электродвигателей. Второй блок – это обычный персональный компьютер, на который установлено приложение для ввода параметров.

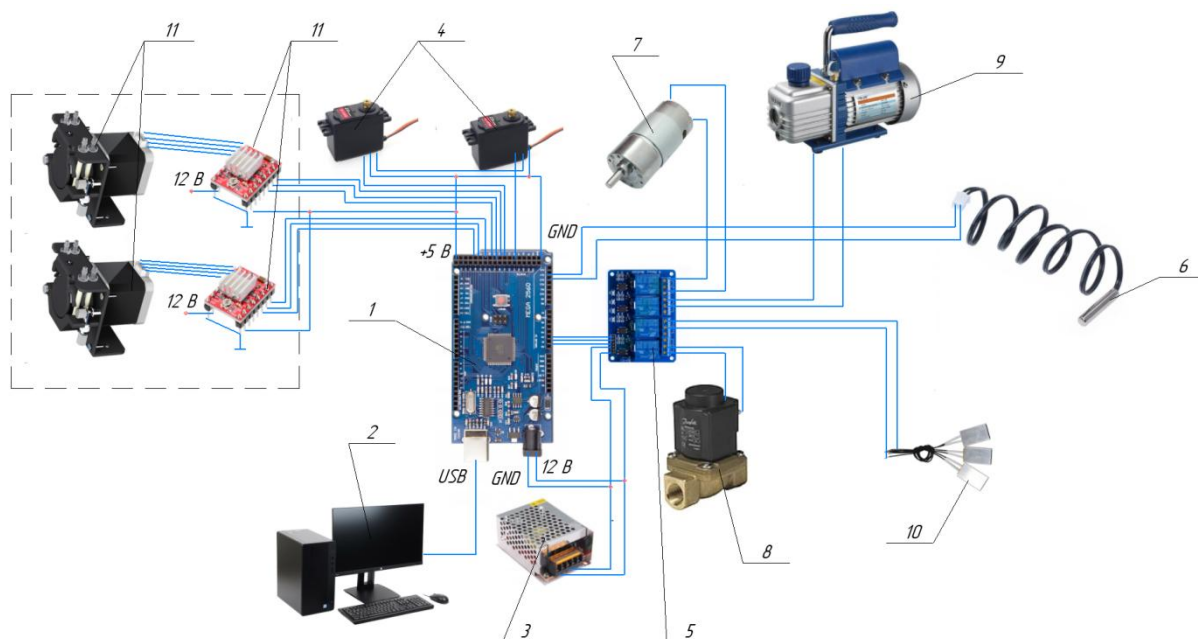


Рис. 3. Наглядная схема взаимодействия основных элементов

Разработанное ПО управляет двумя перистальтическими насосами и позволяет управлять скоростью и объемом заливаемого компонента, на рис. 4 представлено многооконное

приложение, устанавливаемое на компьютер, имеющее окно настройки дозирования. Приложение создано в среде программирования Delphi 10.3 [2; 3].

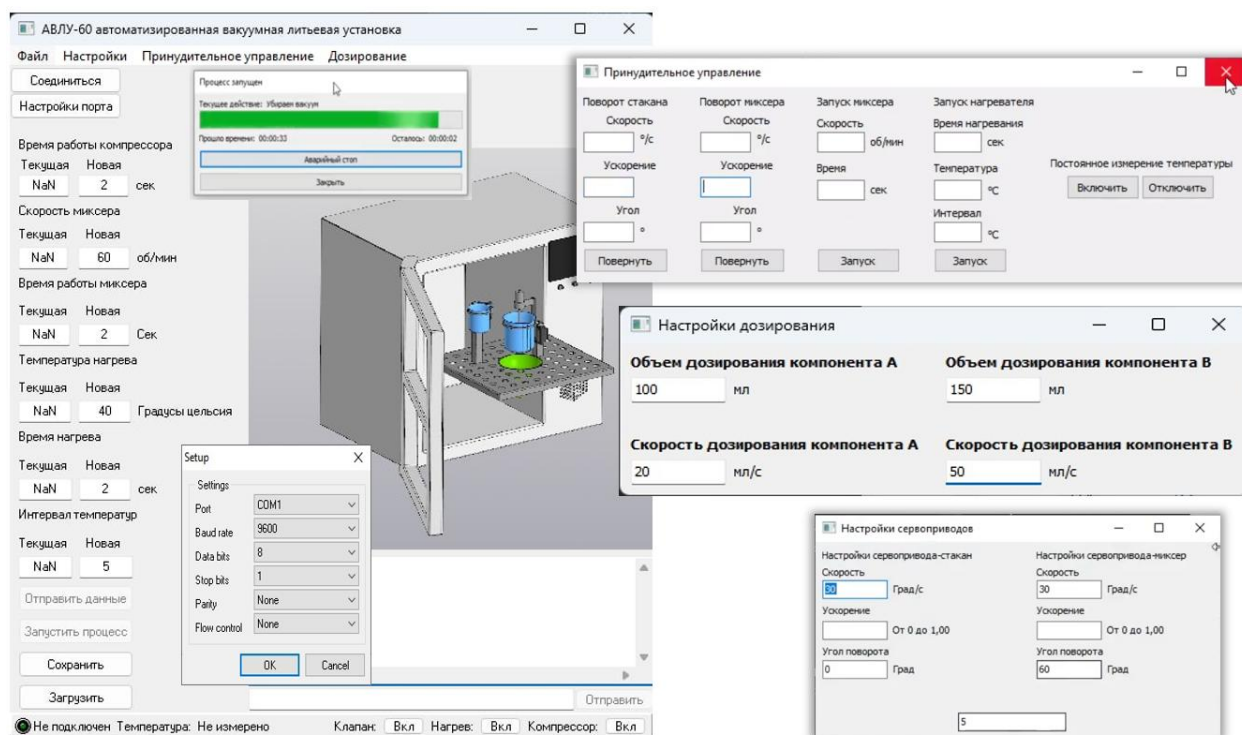


Рис. 4. Окно настройки дозирования

Установленные параметры технологического процесса можно сохранять, а потом при не-

обходимости открывать их и запускать процесс без ручного ввода параметров. Разработанный

программный комплекс реализует различные по времени операции смешивания и выливания, что позволяет работать с различными реактопластами, имеющими различное время полимеризации.

Выводы

В ходе тестирования системы управления и его программного обеспечения было выявлено сокращение времени, как самого процесса литья изделия, так и времени настройки оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глобин, А. Н. Дозаторы : монография / А. Н. Глобин, И. Н. Краснов. – Волгоград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – 348 с.
2. Прокудин, Г. Ю. Разработка системы управления автоматизированной литьевой установки / Г. Ю. Прокудин, А. В. Нелюбова // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 24–27 ноября 2020 г.) : сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – С. 213–215.
3. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. – 400 с. : ил.
4. Эйшлина, Г. М. Delphi : программирование в примерах и задачах. Практикум : учеб. пособие / Г. М. Эйшлина, К. А. Милорадов. – Москва : ИНФРА-М, 2012. – 116 с.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-73-76

А. И. Репников, М. П. Кухтик, А. А. Яковлев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕТСКОЙ КАРУСЕЛЬЮ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАТФОРМОЙ И ФОНТАНОМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Разработана автоматизированная система управления детской каруселью с вращающейся платформой и фонтаном с использованием программируемого реле ОВЕН PR200 и частотных преобразователей. Спроектирован и собран шкаф управления. Предложен алгоритм работы программы управления каруселью. Написана программа управления для программируемого реле, и разработан HMI-интерфейс для задания требуемых уставок работы карусели.

Ключевые слова: детская карусель, программируемое реле, программа управления, шкаф управления, преобразователь частоты, HMI-интерфейс.

A. I. Repnikov, M. P. Kukhtik, A. A. Yakovlev

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A CHILDREN'S CAROUSEL WITH A ROTATING PLATFORM AND A FOUNTAIN

Volgograd State Technical University

An automated control system for a children's carousel with a rotating platform and a fountain using a programmable OWEN PR200 relay and frequency converters has been developed. A carousel control cabinet has been designed and assembled. An operation algorithm of carousel control program has been proposed. A control program for a programmable relay has been written, and an HMI interface has been developed to set the required carousel operating settings.

Keywords: children's carousel, programmable relay, control program, control cabinet, frequency converter, HMI interface.

При создании систем управления такими объектами, как детские карусели, необходимо подбирать компоненты, исходя из требований высокой надежности и безотказности системы [1–3]. В процессе разработки автоматизированной системы управления детской каруселью с вращающейся платформой и фонтаном был спроектирован и собран шкаф управления (рис. 1).

Программируемое реле 1 PR200 компании ОВЕН содержит программу управления и пре-

доставляет HMI-интерфейс, который реализован с помощью подсвечиваемого строчного дисплея. Возможность использования такого программируемого реле вместо программируемого логического контроллера (ПЛК) обусловлена тем, что реле, помимо управляющей функции, присущей ПЛК, обладает также функцией визуализации. Комбинирование в одном устройстве функций ПЛК и HMI-интерфейса позволяет упростить систему управления и значительно снизить ее стоимость.

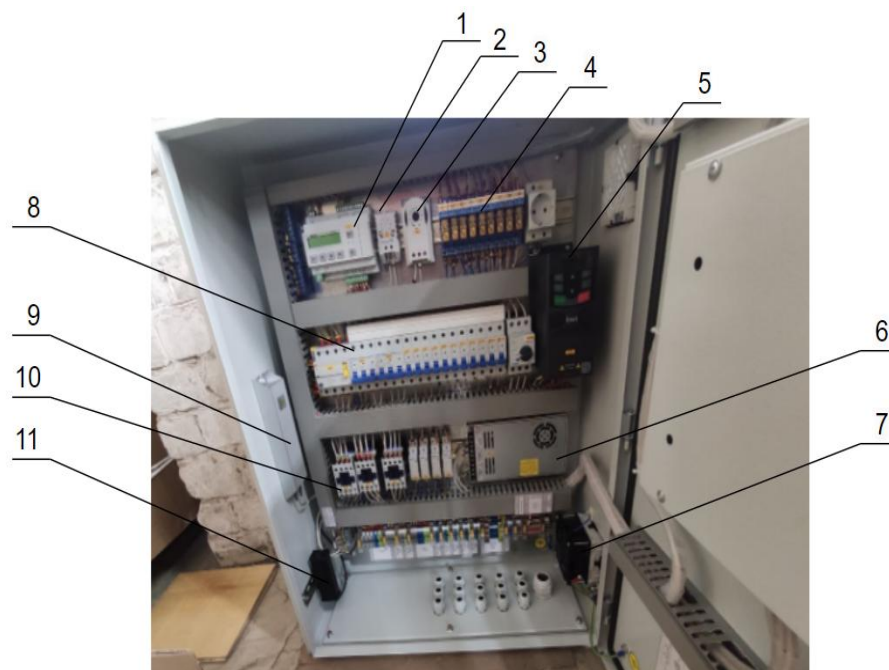


Рис. 1. Шкаф управления:

- 1 – программируемое реле; 2 – гигростат; 3 – терморегулятор; 4 – группа контактных реле;
5 – частотный преобразователь; 6 – блок питания; 7 – вентилятор; 8 – автоматические выключатели;
9 – тормозной резистор; 10 – контакторы; 11 – нагреватель

Гигростат 2 и вентилятор 7 предназначены для регулирования заданной влажности воздуха внутри шкафа управления, а терморегулятор 3 и нагреватель 11 поддерживают требуемое значение температуры внутри шкафа. Группа контактных реле 4 предназначена для управления такими логическими цепями и исполнительными механизмами, как частотный преобразователь, звонок, платформа вращения фонтана, платформа с сидениями и т. д. Частотный преобразователь 5 компании AVT используется для управления электродвигателем вращения платформы карусели. Блок питания 6 преобразует напряжение 220 В в 24 В, которое питает программируемое реле 1 и группу контактных реле 4. Автоматические выключатели 8 используются для питания таких исполнительных механизмов, как электродвигатели вращения платформы и фонтана, иллюминация карусели и т. д. Тормозной резистор 9 обеспечивает устойчивую и безопасную работу электродвигателя вращения платформы и уменьшение нагрева двигателя [4]. Контакторы 10 предназначены для прямого запуска таких исполнительных механизмов, как электродвигатели, отвечающие за вращение платформы в ручном режиме и за прямое и обратное вращение фонтана, иллюминация.

Детская карусель с вращающейся платформой и фонтаном состоит из двух вертикальных

стоек. На первой (внешней) стойке закреплена платформа с сидениями, на второй (внутренней) стойке установлен фонтан.

Рассмотрим алгоритм работы программы управления. При нажатии кнопки «Пуск», расположенной на двери шкафа управления, подается предупреждающий звуковой сигнал, сообщающий о начале работы цикла программы. Затем начинает вращаться фонтан в прямом направлении с частотой 50 Гц и платформа с сиденьями с частотой 25 Гц в течение трех минут. Через три минуты частота вращения платформы увеличивается до 50 Гц. Платформа вращается с такой частотой еще две минуты. Затем система подает сигнал остановки на фонтан и платформу, которая останавливается в течение 20 секунд плавным торможением. По завершении торможения платформа и фонтан начинают вращаться в обратном направлении с частотой 50 Гц в течение двух минут. По истечении этого времени платформа и фонтан останавливаются и рабочий цикл программы завершается. После этого система недоступна для запуска в течение трех минут. Данная функция реализована в целях защиты системы от непреднамеренного запуска.

Программа управления каруселью с вращающейся платформой и фонтаном написана на языке программирования FBD (язык функ-

циональных блокковых диаграмм) для программируемого реле ОВЕН ПР-200 в среде OWEN

Logic. Фрагмент программы управления представлен на рис. 2.

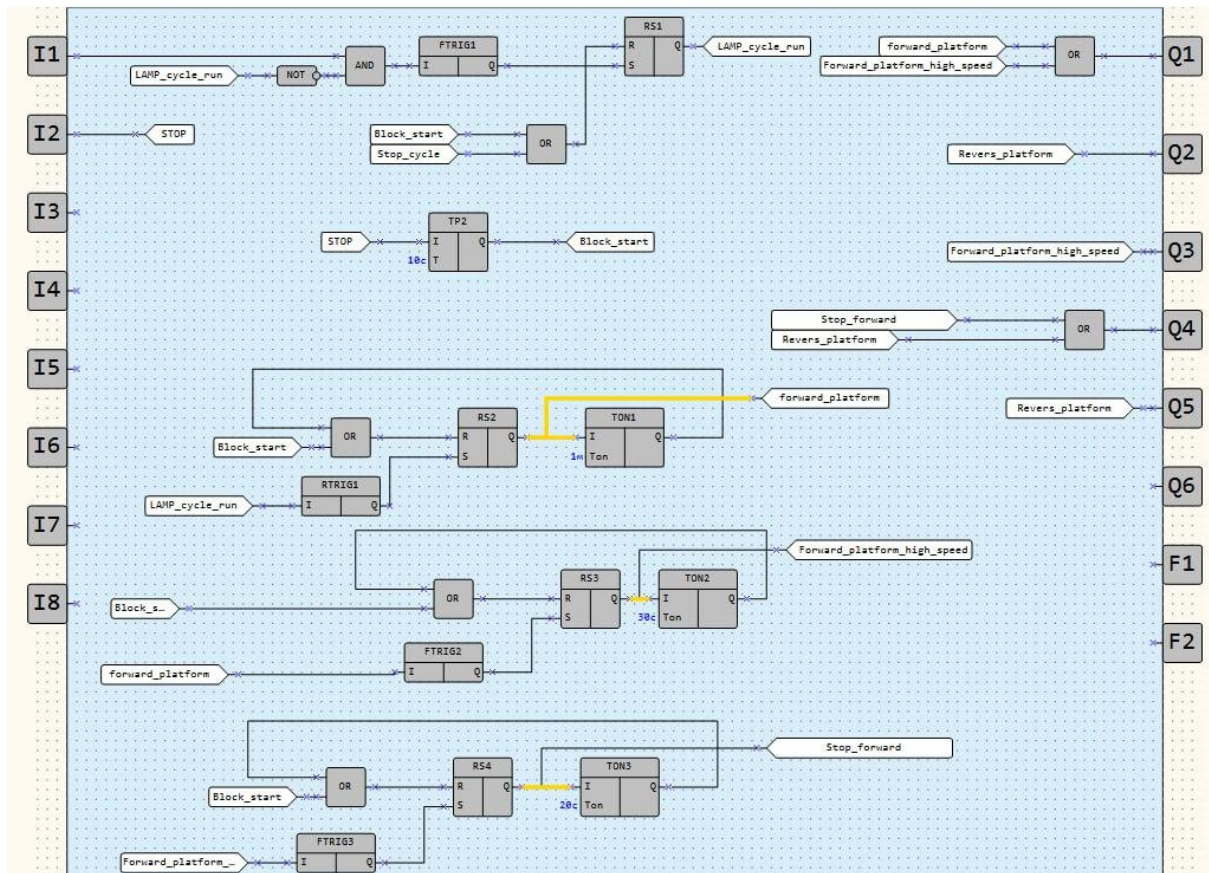


Рис. 2. Программа управления на языке FBD

Программа управления состоит из трех частей: дискретных входов (левая часть), основного тела программы и дискретных выходов (правая часть). Основное тело программы состоит из различных связей между функциональными блоками, входами и выходами, а также самих функциональных блоков: таймеров с задержкой включения и отключения, RS- и F-триггеров и т. д.

НМИ-интерфейс, необходимый для корректировки временных уставок карусели в процессе пусконаладочных работ, представлен в виде дисплея программируемого реле (рис. 3).

Как видно из рис. 3, НМИ-интерфейс предоставляет возможность задать все необходимые для работы временные уставки и защитить их паролем. Временными уставками являются время вращения платформы и фонтана в прямом и обратном направлениях с частотами 25 и 50 Гц, время останова платформы и фонтана, время полного останова аттракциона и задержка запуска нового цикла работы.

П а р о л ь	0	0	0	0
В р а щ . п р я м о	0	0	0	с
В р . б ы с т р о	0	0	0	с
С т о п в р а щ .	0	0	0	с
В р а щ . н а з а д	0	0	0	с
Б л о к . п у с к а	0	0	0	с
О с т а н о в	0	0	0	с

Рис. 3. НМИ-интерфейс

Разработанная автоматизированная система управления каруселью с вращающейся платформой и фонтаном обеспечивает безопасный режим ее эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Репников, А. И. Автоматизированная система управления детской каруселью / А. И. Репников, М. П. Кух-

тик // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (243) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 70–72.

2. Репников, А. И. Автоматизированная система управления цепочной каруселью / А. И. Репников, М. П. Кух-тик, А. А. Яковлев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 65–68.

3. Репников, А. И. Автоматизированная система управления детской каруселью с контролируемым подъемом / А. И. Репников, М. П. Кухтик, А. А. Яковлев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 82–85.

4. Purelogic. Тормозные резисторы [Электронный ресурс]. URL: <https://purelogic.ru/news/tormoznye-rezistory/> (дата обращения: 28.01.2023)

УДК 004.65

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-3-274-76-79

Е. И. Скарлухина, А. Ю. Горелова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДБОРА НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

На предприятии ОАО «Волгограднефтемаш» выпускают насосы различных серий для решения ряда технологических задач. К каждому насосу на предприятии производят большинство комплектующих. В зависимости от типа и года изготовления насоса комплектующие могут иметь различный материал и состав. Для продажи комплектующих предприятиям сейчас организована сложная цепочка. Она состоит из нескольких этапов и отделов. Первым звеном является отдел продаж, который получает письмо от заказчика в произвольной и неструктурированной форме. Затем письмо направляют в конструкторский отдел, где должны сверить данные заказа и найти номера на чертежах для запрашиваемых комплектующих. Далее в бухгалтерии рассчитывают стоимость заказа. Лишь после определения стоимости отдел продаж может выставить счет заказчику. Такая схема замедляет процесс выставления счета и нагружает сотрудников лишней работой. Актуальной задачей является автоматизация процесса подбора комплектующих и выставления счета. Для решения поставленной задачи спроектирована система на основе БД (базы данных), которая позволяет заказчику в удобной форме подобрать детали и отправить заказ на обработку. Для отдела продаж система упрощает работу за счет того, формирует структурированный заказ, содержащий чертежные номера и материальные исполнения комплектующих.

Ключевые слова: автоматизация процесса, базы данных, насосное оборудование.

Е. И. Skarlukhina, A. Yu. Gorelova

AUTOMATION OF THE PROCESS OF SELECTION OF PUMPING EQUIPMENT

Volgograd State Technical University

OJSC «Volgogradneftemash» produces pumps of various series for solving a number of technological tasks. Most of the components are produced for each pump at the enterprise. Depending on the type and year of manufacture of the pump, the components may have different material and composition. A complex chain is now organized for the sale of components to enterprises. It consists of several stages and departments. The first link is the sales department, which receives a letter from the customer in an arbitrary and unstructured form. Then the letter is sent to the design department, where they must verify the order data and find the numbers on the drawings for the components to be ordered. Next, the accounting department calculates the cost of the order. Only after determining the cost, the sales department can issue an invoice to the customer. This scheme slows down the billing process and loads employees with extra work. An urgent task is to automate the process of selecting components and invoicing. To solve this problem, a system based on a database (database) has been designed, which allows the customer to pick up details in a convenient form and send an order for processing. For the sales department, the system simplifies the work by forming a structured order containing drawing numbers and material versions of components.

Keywords: process automation, databases, pumping equipment.

Исходными данными для проектирования структуры БД и пользовательского интерфейса является техническое задание и информация, полученная от сотрудников предприятия (рис. 1).

Таким образом, исходными данными для хранения в БД являются: марка насоса, год выпуска насоса, наименование детали, соответ-

ствующий чертежный номер и материальное исполнение, а также масса детали, которая необходима специалисту по продажам для расчета итоговой стоимости заказа. Чертежный номер изменяется согласно материальному исполнению. Год выпуска насоса создает вариативность между деталями и их материальным исполнением.

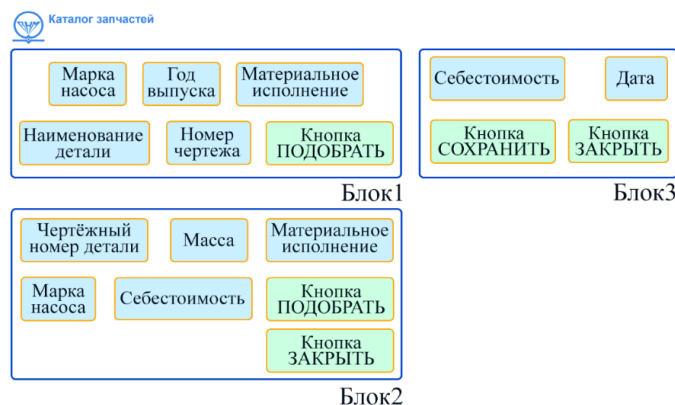


Рис. 1. Исходные данные

Например, для насоса ТКА 63/200 информацией для формирования базы данных является:

- наименование насоса ТКА 63/200;
- год выпуска насоса (один год, вариативность исключена) 2012 г. согласно ТУ3631-042-00217610-2012;
- наименование детали: ротор 1, ротор 2, вал, колесо рабочее первой ступени;
- чертежный номер (например, для ротор 1 в зависимости от материального исполнения обозначается как 240.180 для стали и как 240.180-01 для хрома);
- материальное исполнение. Значок «+» обозначает, что деталь выполнена из стали, хрома или никеля. Также есть обозначения сплава, например, 25Л в соответствующей ячейке;
- масса детали обозначена в кг. При заказе ротор 1, например, масса указывается через дробь – так же, как и в каталоге.

По исходным данным разработана концептуальная модель базы данных в виде ER диаграммы (рис. 2) [1]. Она содержит следующие сущности:

- «Насос и год» – для хранения уникального идентификационного номера каждого насоса в БД и полное название насоса (обозначение и год выпуска);
- «Запчасти» – для хранения информации о комплектующих: уникальный идентификатор, название и массу в кг;
- «Запчасти по насосам» и «Запчасти в заказе» – сущности, которые помимо роли хранения, обеспечивают отсутствие избыточности в БД [3];
- «Материальное исполнение» для хранения информации о материале и его коде в каталоге для каждой запчасти;
- «Заказ» – хранит в себе все необходимые для формирования заказа данные.

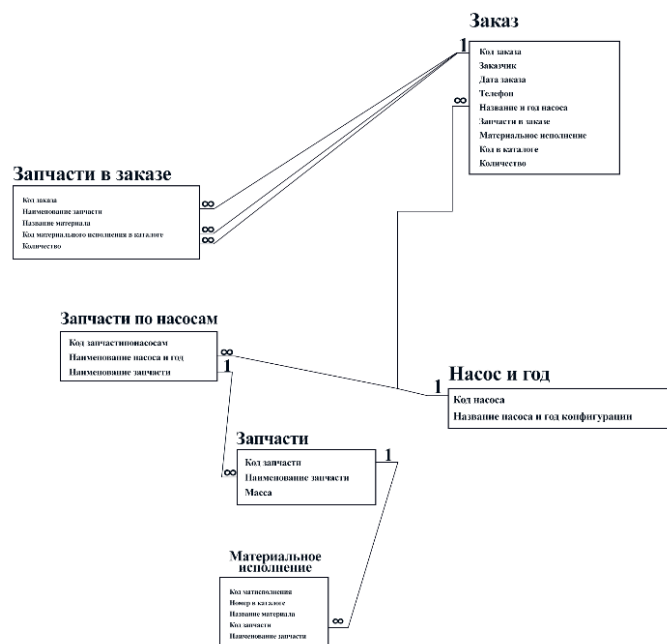


Рис. 2. ER диаграмма БД

БД содержит также информацию о заказчиках: наименование организации заказчика, дата заказа, телефон для удобства выставления счета на комплектующие [2].

Для корректного взаимодействия между заказчиком и отделом продаж разработан интерфейс на основе веб-форм, сообщаемых с СУБД (системой управления базами данных), которая взаимодействует с данными каталога в БД [5]. При проектировании интерфейса реализованы следующие функции:

- простота и интуитивность кнопок и выпа-

дающих списков для пользователя;

- ориентированность на пользователя;
- наименьшее количество действий для пользователя (автоматический отбор необходимых запчастей по выбранному насосу, автоматическое формирование отчета).

На рис. 3 представлен основной вид интерфейса, который позволяет заказчику подобрать необходимые детали к нужному насосу, сформировать все в документ формата docx и отправить на почту отдела продаж, напрямую к специалисту по продажам.

Рис. 3. Главный вид интерфейса страницы заказа

На данной странице пользователю доступны выпадающие списки (1), кнопки подбора (2, 3, 4), кнопки работы с заказом (5, 6, 7), а также QR-код (8), который при сканировании отправляет заказчика на сайт компании, на котором можно связаться с компанией. Выпадающие списки формируются благодаря кнопкам подбора. Так, например, после выбора насоса и года конфигурации нажатием кнопки 2 «подбор запчасти» выполняется запрос на выборку запчастей для насоса. Формирующий выпадающий список состоит из данных запроса на выборку. Аналогичный механизм разработан для материала и кода

материала в каталоге. Количество необходимых единиц произвольно вводится заказчиком.

Кнопка 5 нужна, если заказчику необходима еще одна запчасть для насоса и для того, чтобы добавить уже имеющиеся данные в текущий заказ.

Кнопка 6 формирует docx документ [4], который открывается в соседнем окне в виде отчета. Кнопка 7 отправляет данный файл на Email отдела продаж для дальнейшей работы специалиста по продажам.

Данная форма универсальна, поскольку, если заказчик выполняет заказ по телефону, рабо-

тая напрямую со специалистом по продажам, то специалист по продажам имеет доступ к БД и может формировать заказ на данной странице.

Специалист по продажам получает сформированный отчет в виде документа docx, который может выглядеть как на рис. 4:

Заказ №1234	
дата 22.02.2023	
Заказчик	ОАО ПРИАПРИСТРОЙ
Телефон/Email	8-967-898-00-78
Насос и год конфигурации	ТКА 63/200 2012
Запчасть, материал, код, количество, масса 1 шт	Вал, Сталь 40X, 701.152-01, 2, 35
Запчасть, материал, код, количество, масса 1 шт	Ротор1, Сталь 20ГМЛ, 240.181-04, 2, 59,8/63,8
Насос и год конфигурации	НК 200/370 РМ до 1989
Запчасть, материал, код, количество, масса 1 шт	Вал1, Сталь 40X, 701.46-01, 2, 46

Рис. 4. Отчет о заказе

Дата и номер заказа формируются автоматически сервером.

В данном заказе заказчику потребовались разные запчасти для разных насосов. На осно-

вании этого документа специалист по продажам может сформировать заказ, подсчитать его стоимость, а также связаться с заказчиком в случае некорректных позиций заказа.

Таким образом, созданная БД позволит существенно сократить время подготовки документов для продажи комплектующих и освободить сотрудников от лишней работы. Для заказчика процесс заказа комплектующих станет удобнее и быстрее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хомопепко, А. Д.* Базы данных : учеб. для высших учебных заведений / А. Д. Хомопепко, В. М. Цыганков, М. Г. Мальцев. – Изд. 6-е., доп. –СПб. : КОРОНА-Век, 2009. –736 с.
2. Голицына, О. Л. Базы данных / О. Л. Голицына, Н. В. Максимов, И. И. Попов. – М.: Форум, 2015. – 400 с.
3. *Кириллов, В. В.* Введение в реляционные базы данных / В. В. Кириллов. – М. : БХВ-Петербург, 2016. – 318 с.
4. *Паршукова, Н. Б.* Программирование с использованием PHP и MySQL в разработке веб-приложений : учеб. пособие / Н. Б. Паршукова. – Челябинск : Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2021. – 167 с.
5. *Маклафлин, Б.* PHP и MySQL. Исчерпывающее руководство / Б. Маклафин. –Изд.2-е. – СПб. : Питер, 2014. – 544 с.

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 2023 г. Поз. № 2ж. Дата выхода в свет 30.03.2023 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 9,02.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 177.

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