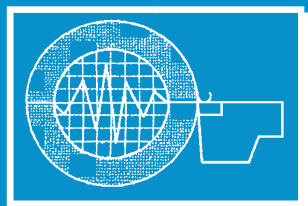


ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского
государственного
технического
университета

ISSN 1990-5297



Серия
Прогрессивные технологии
в машиностроении

№ 8 (243)
2020

16+

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

Редакционная коллегия:

Байбурин В. Б., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАЕН, засл. деятель науки РФ,
Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Безъязычный В. Ф., д-р техн. наук, проф.,
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева (г. Рыбинск, Россия)
Бодров В. Н., д-р, проф., Университет прикладных наук (г. Берлин, Германия)
Бребельс А., PhD, доцент факультета инженерных наук университета г. Левена (г. Левен, Бельгия)
Буренин А. А., чл.-корр. РАН, Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН
(г. Комсомольск-на-Амуре, Россия)
Голованчиков А. Б., д-р. техн. наук, проф. ВолгГТУ
Гринберг Б. А., д-р физ.-мат. наук, Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)
Гуревич Л. М., д-р техн. наук, доц. ВолгГТУ
Добрушин Л. Д., д-р техн. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев, Украина)
Злотин С. Г., д-р хим. наук, проф., Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (г. Москва, Россия)
Иванов А. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ, г. Москва, Россия)
Иващенко Н. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Королев А. В., д-р техн. наук, проф., Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Кузьмин С. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Кураев А. А., д-р физ.-мат. наук, проф., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь)
Лысак В. И., чл.-корр. РАН, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Марков В. А., д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет
(МГТУ) им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Мертен Клеменс, д-р техн. наук, проф. Universität Stuttgart Institut für Chemische Verfahrenstechnik
(г. Штутгарт, Германия)
Навроцкий А. В., д-р хим. наук, проф. ВолгГТУ
Нижегородцев Р. М., д-р экон. наук, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва, Россия)
Пай В. В., д-р физ.-мат. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)
Полянчиков Ю. Н., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
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)
Шарипов В. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)
Шаховская Л. С., д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ
Шеин А. Г., д-р физ.-мат. наук, проф. ВолгГТУ
Щербачков М. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ

Серия
«ПРОГРЕССИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»

ИЗВЕСТИЯ



ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Чигиринский Ю. Л., д.т.н., доц.

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

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

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

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

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

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

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

Сидякин Ю. И., д.т.н., проф.

Тескер Е. И., д.т.н., проф.

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

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

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

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

Плотников А. Л., д.т.н., проф.

Фролов Е. М., к.т.н., доц.
(ответственный секретарь)

Международный индекс журнала
ISSN 1990-5297.

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

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

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

№ 8 (243)

Август 2020

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Адрес редакции:

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

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

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

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Head Editor of the scientific journal “Izvestiya VSTU”:

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

Editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Polyanchikov Yu. N., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sheyin A. G., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof. of VSTU

SERIES
«ADVANCED
TECHNOLOGY IN
MACHINE BUILDING»

IZVESTIA



VOLGOGRAD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY

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

Editorial board:

Chairman

Tchigirinsky Ju. L., D. Sc.
(Engineering), Ass. Prof.
Serdobintsev Yu.P., D. Sc.
(Engineering), Prof. (Vice-chairman)
Bez'yazychniy V.F., D. Sc.
(Engineering), Prof. (RSATU
named after P.A. Solovyov, Rybinsk)
Skhirtladze A.G., D. Sc.
(Engineering), Prof.
(MSTU STANKIN, Moscow)
Mukhin A.V., D. Sc. (Engineering),
Prof. (Bauman MSTU, Moscow)
Brzhozovsky B. M., D. Sc.
(SSTU, Saratov)
Korolev A.V., D. Sc., Prof.
(SSTU, Saratov)
Shumyacher V.M., D. Sc.
(Engineering), Prof.,
(VPI of VSTU, Volzhski)
Sidyakin Yu.I., D. Sc. (Engineering), Prof.
Tesker E.I., D. Sc. (Engineering), Prof.
Blagoveschenskaya M.M., D. Sc.
(Engineering), Prof., Vice-rector
(MSUFP, Moscow)
Pashkov E.V., D. Sc. (Engineering),
Prof., First vice-rector
(SEVNTU, Sevastopol)
Popov V.I., D. Sc. (Engineering),
Prof. (MSUAB, Moscow)
Serdobintsev S.P., D. Sc.
(Engineering), Prof.
(KSTU, Kaliningrad)
Plotnikov A.L., D. Sc. (Engineering), Prof.
Frolov E.M. (executive secretary),
Cand. Sc., Ass. Prof.

International index of the journal
ISSN 1990-5297.

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

Tel. Of VSTU editorial office:

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

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

№ 8 (243)
August
2020

FOUNDER:

FSBEI of Higher Professional Education
«Volgograd State Technical University»

Editorial office address:

Volgograd, Lenin avenue, 28.

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

E-mail: president@vstu.ru

The journal is registered at the Federal Service on Control in the Sphere of Communication,
IT and Mass Communications (Roscomnadzor)

Registration certificate ПИ № ФС77–61113 of March 19, 2015

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

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

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

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Амирджанова И. Ю. 23, 25
Андреев А. В. 43
Банников А. И. 7, 14
Барабанов В. Г. 72, 81
Барабанов Д. С. 65
Батуев Ц. А. 19
Бобровский А. В. 23, 25
Божкова С. Е. 28
Бочкарев П. Ю. 35, 46
Волков И. В. 65
Галсанова Э. Ц. 19
Гребенников В. Н. 83
Грешилов А. Д. 19
Дзедик В. А. 43
Драчев О. И. 23, 25
Дроботов А. В. 78
Жохов А. Д. 59
Жохов В. Д. 59, 72
Зейналов Д. Р. 14
Ивченко А. В. 75
Ингеманссон А. Р. 32
Калинин Я. В. 61
Каменев А. А. 55
Качалова А. В. 43
Козловцева Н. В. 81
Крылов Е. Г. 81
Кухтик М. П. 53, 70
Лапиков М. А. 65
Макаров А. М. 65, 75
Макарова О. А. 7, 14
Назарьев А. В. 35
Нестеренко Е. Н. 50
Носенко В. А. 40
Омаров А. В. 78
Осипов А. Д. 7
Полянчикова М. Ю. 43
Поступаева С. Г. 83
Прокудин Г. Ю. 67
Репников А. И. 70
Решетникова Е. П. 46
Самарский П. И. 40
Санинский В. А. 50
Семенов С. С. 61
Сердобинцев Ю. П. 53, 59
Сердюков Н. Д. 40
Смольяков С. П. 59, 72
Сурганов Н. А. 61
Трухляев О. О. 55
Федорова Н. В. 83
Федянов Е. А. 50
Фролов Е. М. 55
Чемогонов П. А. 75
Шабанов С. Н. 61
Шаронов Н. Г. 67, 75
Шемелюнас С. С. 78
Ширяев И. С. 7
Шкода О. М. 40
Шкурин И. К. 14
Шмелева А. А. 81
Яковлев А. А. 83
Ящук В. М. 28

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Банников А. И., Макарова О. А., Ширяев И. С., Осипов А. Д.</i> Исследование распределения тепла в зубе пилы с учетом периодичности процесса при пакетной резке холодного металлопроката.....	7
<i>Банников А. И., Макарова О. А., Шкурин И. К., Зейналов Д. Р.</i> Исследование напряжений пилы пакетной резки.....	14
<i>Батуев Ц. А., Галсанова Э. Ц., Грешилов А. Д.</i> Обоснование наиболее рациональных технологических факторов, влияющих на процесс формообразования при горячей листовой штамповке оковок из титанового сплава.....	19
<i>Бобровский А. В., Драчев О. И., Амирджанова И. Ю.</i> Анализ характеристик работы установки для двухлезвийной обработки валов.....	23
<i>Бобровский А. В., Драчев О. И., Амирджанова И. Ю.</i> Технология механической обработки осесимметричных деталей при автоматическом управлении процесса с учетом внешних случайных воздействий.....	25
<i>Божкова С. Е., Яцук В. М.</i> Модернизация пластинчатого теплообменника для пищевой промышленности.....	28
<i>Ингеманссон А. Р.</i> Технико-экономический анализ изменения эффективности технологических процессов механической обработки за счет внедрения цифровых производственных систем.....	32
<i>Назарьев А. В., Бочкарев П. Ю.</i> Математическое и методическое обеспечение реализации комплекса проектных процедур системы учета требований к сборке при проектировании технологических процессов механической обработки....	35
<i>Носенко В. А., Сердюков Н. Д., Шкода О. М., Самарский П. И.</i> Испытание СОЖ на операции плоского врезного шлифования титанового сплава.....	40
<i>Полянчикова М. Ю., Дзедик В. А., Качалова А. В., Андреев А. В.</i> Стандартизация автомобильной промышленности: достижения и перспективы.....	43
<i>Решетникова Е. П., Бочкарев П. Ю.</i> Разработка моделей для формализации проектирования контрольно-измерительных процедур технологического процесса изготовления деталей машиностроительных производств.....	46
<i>Санинский В. А., Федянов Е. А., Нестеренко Е. Н.</i> Расчет параметров дросселирования каналами дорнующих элементов прошивок.....	50
<i>Сердобинцев Ю. П., Кухтик М. П.</i> Ионная обработка металлических материалов для прецизионного оборудования.....	53
<i>Фролов Е. М., Каменев А. А., Трухляев О. О.</i> Анализ подходов к исследованию механической обработки полимерных материалов.....	55

Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Жохов В. Д., Смольяков С. П., Жохов А. Д., Сердобинцев Ю. П.</i> Снижение энергозатрат и повышение надежности электропривода насосных установок путем внедрения преобразователя частоты в систему управления.....	59
<i>Калинин Я. В., Семенов С. С., Сурганов Н. А., Шабанов С. Н.</i> Разработка колесно-шагающей платформы для агро-робота.....	61
<i>Лапиков М. А., Барабанов Д. С., Волков И. В., Макаров А. М.</i> Разработка и исследование автоматизированного устройства для манипулирования биг-бэгом.....	65
<i>Прокудин Г. Ю., Шаронов Н. Г.</i> Разработка автоматизированной вакуумной камеры для мелкосерийного литья пластмассовых деталей.....	67
<i>Репников А. И., Кухтик М. П.</i> Автоматизированная система управления детской каруселью.....	70
<i>Смольяков С. П., Жохов В. Д., Барабанов В. Г.</i> Разработка автоматической системы позиционирования заготовок листового проката.....	72
<i>Чемогонов П. А., Макаров А. М., Шаронов Н. Г., Ивченко А. В.</i> Исследование автоматизированной динамической реконфигурируемой панели.....	75
<i>Шемелюнас С. С., Омаров А. В., Дроботов А. В.</i> Анализ и совершенствование системы контроля подачи материала в FDM 3D принтерах.....	78
<i>Шмелева А. А., Барабанов В. Г., Крылов Е. Г., Козловцева Н. В.</i> Разработка схемы организации сети для предприятия на основе беспроводных протоколов.....	81
<i>Яковлев А. А., Поступаева С. Г., Гребенников В. Н., Федорова Н. В.</i> Разработка технических систем на основе эвристического моделирования физического принципа действия.....	83
К сведению авторов.....	88

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-7-13

А. И. Банников, О. А. Макарова, И. С. Ширяев, А. Д. Осипов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В ЗУБЕ ПИЛЫ С УЧЕТОМ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ПРИ ПАКЕТНОЙ РЕЗКЕ ХОЛОДНОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alc19@mail.ru

В настоящей публикации рассматривается вопрос, связанный с исследованием распределения тепла в зубе пилы с учетом периодичности процесса резания холодного металлопроката дисковыми пилами.

Ключевые слова: дисковые пилы, пакет труб, пакетная резка, температурное поле.

A. I. Bannikov, O. A. Makarova, I. S. Shiryayev, A. A. Osipov

INVESTIGATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF BURRS ON THE PIPE END DURING BATCH CUTTING OF COLD ROLLED METAL

Volgograd State Technical University

This publication addresses the issue of studying the distribution of heat in a saw's tooth, taking into account the periodicity of the process of cutting cold metal with circular saws.

Keywords: disk saw, pipe bundle (batch), batch saw cutting, temperature field.

Данная работа посвящена исследованию распределения тепла в зубе пилы при резании холодного металлопроката дисковыми пилами в ТПЦ – 2 АО ВТЗ.

Широкое применение в производственных условиях металлургических предприятий нашла пакетная резка салазковой пилой. Данный способ имеет значительный экономический эффект и характеризуется высокой производительностью. Несмотря на большой ресурс дискового инструмента, за счет возможности переточки с почти полным восстановлением первоначальных геометрических характеристик, проблема повышенного износа дисковых пил достаточно актуальна [1; 2].

При разрезании пакета труб происходит значительное увеличение длины контакта инструмента и заготовок. В результате чего инструмент перегревается, а температура значительного объема обрабатываемого материала в приконтактной зоне близка к температуре плавления.

Из-за малой величины подачи на зуб ($S_z = 0,0015$ мм/зуб), основным процессом уда-

ления материала из зоны обработки можно считать процесс термофрикционного резания [1; 2].

Значительное увеличение температуры, силы резания и большое количество внешних факторов подвергают зуб большим нагрузкам, в результате которых он деформируется (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент пилы с деформированными зубьями

Рассмотрим влияние прерывистости процесса резания пакета труб дисковой пилой. Нагрев зуба пилы происходит за время контакта с заготовкой (рабочего хода), а охлаждение при выходе из зоны контакта во время холостого хода [2].

Время рабочего цикла равно времени оборота пилы:

$$\tau_u = \tau_d = \frac{60}{n} = 0,06 \text{ с.} \quad (1)$$

Время рабочего хода зуба пилы [229]:

$$\tau_p = \tau_k = 0,00152 \text{ с.} \quad (2)$$

Время холостого хода зуба пилы равно:

$$\tau_x = (\tau_u - \tau_p) = (\tau_d - \tau_k) = 0,0584 \text{ с.} \quad (3)$$

Нагрев зуба можно разделить на три этапа.

На первом взаимодействии холодного зуба пилы с холодным обрабатываемым материалом приводит к выделению большого количества тепла, обусловленного процессом трения. Длительность этого процесса очень мала вследствие больших скоростей при резании. На этапе обрабатываемый материал быстро нагревается, количество тепла от трения Q_{mp} распределяется в обрабатываемый материал $Q_{нагр}$ и в зуб пилы Q_3 .

Второй этап представляет собой взаимодействие холодного зуба пилы с заготовкой, нагретой до высоких температур, близких к температуре стабилизации T_{cm} [2]. Зуб пилы, вследствие большой длительности холостого хода, по сравнению с рабочим ходом, успевает охладиться. Тепловой поток, выделяющийся от трения, уменьшается из-за изменения физических свойств обрабатываемого материала при нагревании. Тепловой поток в зуб зависит от разницы температур горячего обрабатываемого материала и холодного зуба пилы.

На третьем этапе зуб пилы не успевает охладиться за время холостого хода и нагревается до температур стабилизации. Количество тепла, поступающего в зуб Q_3 , уменьшается, так как уменьшается разница температур обрабатываемой поверхности и зуба пилы.

На втором и третьем этапе температура поверхности контакта T_k постоянна. Охлаждение материала трубы от контакта с холодным зубом компенсируется активизацией процесса трения.

Количество тепла, поступающего в зуб пилы из обрабатываемого материала, равно:

$$T_3 = \frac{q_3 \cdot \tau_k \cdot \sqrt{\omega_3}}{2\sqrt{\pi} \cdot \lambda_3 \cdot \sqrt{\tau}} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{4\omega_3 \cdot \tau}\right] \cdot \left(\Phi\left[\frac{x}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}}\right] - \Phi\left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}}\right]\right) \quad (9)$$

где $\Phi(x, \tau)$ – безразмерная функция ошибок, описывающая распределение температуры по ширине площадки контакта зуба [3]; x, y – координаты точки зуба пилы (см. рис. 2).

На задней поверхности зуба в середине площадки ($y = 0, \tau = 0, x = l_3/2$):

$$T_3 = \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau}} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{4\omega_3 \cdot \tau}\right] \cdot \left(\Phi\left[\frac{x}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}}\right] - \Phi\left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}}\right]\right). \quad (11)$$

$$Q_{mp} = Q_3 = q_{mp} \cdot l_z \cdot B \cdot \tau = q_3 \cdot l_3 \cdot B \cdot \tau, \text{ откуда:} \quad (4)$$

$$q_{mp} = q_3 \cdot \frac{l_3}{l_z}. \quad (5)$$

Повышение температуры на задней поверхности зуба пилы (за время контакта, $\tau = \tau_k$) рассчитывается по формуле (7) для мгновенного источника тепла [3, 4]:

$$\Delta T_3 = T_k - T_3 = \frac{q_3 \cdot \sqrt{\omega_3 \cdot \tau_k}}{\sqrt{\pi} \cdot \lambda_3}. \quad (6)$$

Уменьшение температуры обрабатываемой поверхности при контакте с холодным зубом (быстродвижущийся источник тепла) [3,4]:

$$\Delta T_{mp} = T_{cm} - T_k = \frac{4q_{mp} \sqrt{\omega_{mp} \cdot l_3}}{3\lambda_{mp} \sqrt{\pi} \cdot v} \quad (7)$$

Преобразуя выражения (6), (7) и учитывая (5), получим температуру на контактной поверхности в конце рабочего хода в зависимости от температуры зуба при $\tau = 0$:

$$T_k = T_3 - \Delta T_3 = \frac{T_{cm} - T_3}{1 + \frac{4\lambda_3 \cdot l_3 \sqrt{\omega_{mp} \cdot l_3}}{3\lambda_{mp} \cdot l_z \cdot \sqrt{\omega_3 \cdot l_z}}} + T_3. \quad (8)$$

Расчет показал, что при врезании холодного зуба $T_3 = 20$ °С, в горячий материал $T_{cm} = 1550$ °С, коэффициент температуропроводности материала пилы (сталь 50ХГФА) $\omega_3 = 0,0000118$ м²/с [5]; коэффициент температуропроводности материала трубы (сталь 12Х13) $\omega_{mp} = 0,0000048$ м²/с; коэффициент теплопроводности материала пилы $\lambda_3 = 41$ Вт/м·град; коэффициент теплопроводности материала трубы $\lambda_{mp} = 30$ Вт/м·град [5]; температура контакта $T_k = 1383$ °С.

Рассмотрим распределение тепла в зубе пилы как от мгновенного источника ($Fo \ll 1$) на адиабатической поверхности полубесконечного тела [3]:

$$T_3 = \frac{q_3 \cdot \sqrt{\tau_k} \cdot \sqrt{\omega_3}}{\sqrt{\pi} \cdot \lambda_3} = T_k = 1383. \quad (10)$$

Полученная зависимость позволяет определять температуру поверхности зуба, контактирующей с нагретой обрабатываемой поверхностью:

Прерывистость процесса пакетной резки выражается в циклическом изменении температуры на поверхности зуба пилы.

При контакте зуба пилы с трубой зуб мгновенно нагревается на величину ΔT_3 . Во время холостого хода нагрев прекращается, происхо-

дит распределение теплового импульса в теле зуба. Зуб охлаждается обратно пропорционально $\sqrt{\tau_3}$, согласно зависимости для полосового неподвижного мгновенного источника тепла [3, 4].

За время одного цикла температура поверхности зуба пилы увеличится на величину:

$$\Delta T_{31} = \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau_d}} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{4\omega_3 \cdot \tau_d}\right] \cdot \left(\Phi\left[\frac{x}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d}}\right] - \Phi\left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d}}\right] \right) \quad (12)$$

Аналогичным образом можно рассчитать нагрев поверхности зуба ΔT_{32} на следующем обороте пилы за время двух циклов $2\tau_d$:

$$\Delta T_{32} = \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{2\tau_d}} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{8\omega_3 \cdot \tau_d}\right] \cdot \left(\Phi\left[\frac{x}{2\sqrt{2\omega_3 \cdot \tau_d}}\right] - \Phi\left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{2\omega_3 \cdot \tau_d}}\right] \right) \quad (13)$$

Каждый последующий оборот N нагревает поверхность зуба на величину ΔT_{3N} . [2]:

$$\Delta T_{3N} = \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau_d \cdot N}} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{4\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}\right] \cdot \left(\Phi\left[\frac{x}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}}\right] - \Phi\left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}}\right] \right) \quad (14)$$

Суммарный нагрев поверхности зуба пилы от всех N циклов [2]:

$$\Delta T_{3N\Sigma} = \Delta T_{31} + \Delta T_{32} + \Delta T_{33} + \dots + \Delta T_{3N} \quad (15)$$

Найдем число оборотов (циклов), которая совершает пила при разрезании пакета труб $\varnothing 42$ мм:

$$N = \frac{n \cdot S_k}{S_m} = \frac{1000 \cdot 680}{600} = 1133,3, \quad (16)$$

где n – частота вращения пилы, 1000 об/мин; S_k – длина продольного хода пилы для пакета труб $\varnothing 42$ мм; S_m – минутная подача пилы, 600 мм/мин.

Расчет для 11334 циклов показал рост суммарной температуры поверхности зуба на $931,9$ °С.

Для определения распределения температуры по высоте зуба пилы необходимо учесть влияние граничных поверхностей, приводящих полубесконечное тело к усеченной пирамиде. Введем две симметричные адиабатические границы, под углом 20° к оси зуба (рис. 2).

Тепловой поток в зубе отражается от границ раздела, что увеличивает температуру. Для описания граничных условий на боковых поверхностях зуба воспользуемся методом отраженных источников теплоты.

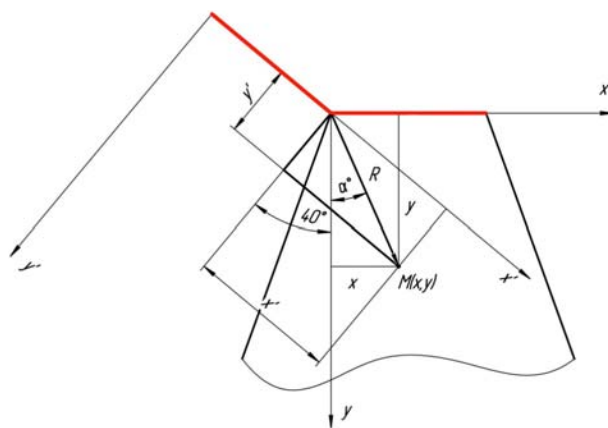


Рис. 2. Система координат зуба пилы и расположение левого фиктивного источника тепла

Температура в точке $M(x, y)$ складывается из теплового потока на задней границе зуба пилы и двух фиктивных тепловых потоков от отраженных источников. Эти фиктивные источники расположены симметрично основному источнику относительно введенных границ раздела (рис. 2).

Координаты точки M в системе координат (x', y') для левого фиктивного источника теплоты можно найти из выражений:

$$\begin{aligned} x' &= R \cdot \sin\left(40 + \arctg \frac{x}{y}\right) + l_3 = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin\left(40 + \arctg \frac{x}{y}\right) + l_3 \\ y' &= R \cdot \cos\left(40 + \arctg \frac{x}{y}\right) = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos\left(40 + \arctg \frac{x}{y}\right) \end{aligned} \quad (17)$$

Распределение тепла от левого фиктивного источников в момент времени τ равно:

$$T_3 = \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau}} \cdot \exp \left[-\frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) \right)^2}{4\omega_3 \cdot \tau} \right] \times \left(\Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) + l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] \right) \quad (18)$$

Аналогично определяются координаты точки M в системе координат (x'', y'') для правого фиктивного источника теплоты (рис. 3):

$$\begin{aligned} x'' &= R \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) + l_3 \cdot \cos 40 \\ y'' &= R \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot \sin 40 = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot \sin 40 \end{aligned} \quad (19)$$

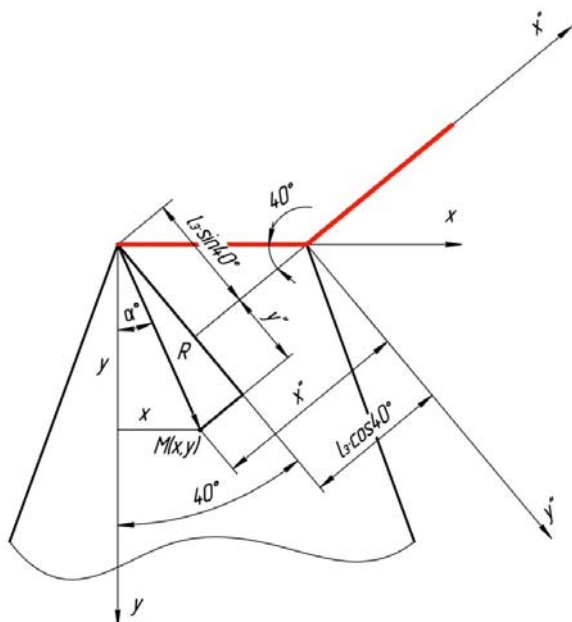


Рис. 3. Система координат зуба пилы и расположение правого фиктивного источника тепла

Температурное поле от правого фиктивного источника подчиняется зависимости:

$$T_3 = \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau}} \cdot \exp \left[-\frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot \sin 40 \right)^2}{4\omega_3 \cdot \tau} \right] \times \left(\Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot (1 - \cos 40)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot (2 - \cos 40)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] \right) \quad (20)$$

Суммарное тепловое поле можно получить наложением температурных полей от реального и фиктивных источников, складывая формулы (11), (18) и (20):

$$\begin{aligned}
 T_s = & \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau}} \cdot \left\{ \exp \left[-\frac{y^2}{4\omega_3 \cdot \tau} \right] \cdot \left(\Phi \left[\frac{x}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] - \Phi \left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] \right) + \right. \\
 & + \exp \left[-\frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) \right)^2}{4\omega_3 \cdot \tau} \right] \times \\
 & \times \left(\Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) + l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] \right) + \\
 & + \exp \left[-\frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot \sin 40 \right)^2}{4\omega_3 \cdot \tau} \right] \times \\
 & \times \left(\Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot (1 - \cos 40)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] - \right. \\
 & \left. - \Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot (2 - \cos 40)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau}} \right] \right).
 \end{aligned} \tag{21}$$

Для иллюстрации полученного решения в программе Excel была сформирована расчетная таблица и получено поле распределения температур от нагрева зуба в начале цикла в момент времени $\tau = 0,006$ с. Распределение температур по высоте зуба показано на рис. 4.

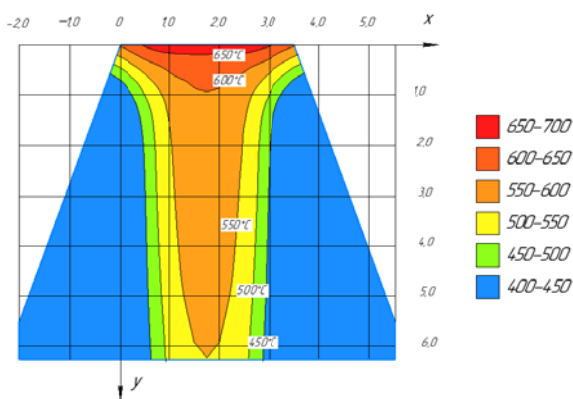


Рис. 4. Температурное поле зуба пилы в начальный момент времени при $\tau = 0,006$ с

Анализ температурного поля показывает, что зуб пилы в начальный момент испытывает импульсное нагружение. Тепло быстро распространяется в тело пилы.

В середине цикла при $\tau = 0,03$ с температура задней поверхности уменьшается, боковые поверхности зуба нагреваются. Температурное поле выравнивается (рис. 5).

В конце цикла и холостого хода при $\tau = 0,06$ с вершина зуба охлаждается до температуры около 200°C . Затем начинается новый цикл нагрева, зуб пилы входит в контакт с обрабатываемой поверхностью (рис. 6).

Для расчета температурного поля в зависимости от количества циклов N необходимо учесть прерывистость процесса резания. Сначала определяется температурное поле в конце каждого цикла при $\tau = \tau_d \cdot N$.

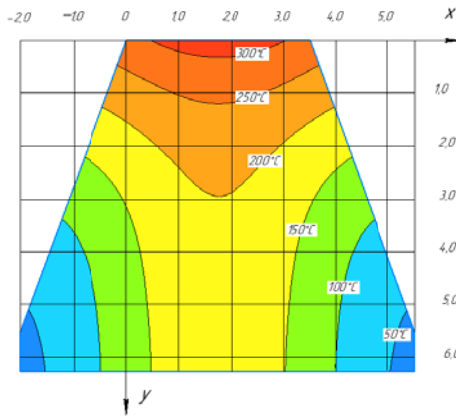


Рис. 5. Температурное поле зуба пилы в момент времени $\tau = 0,03$ с

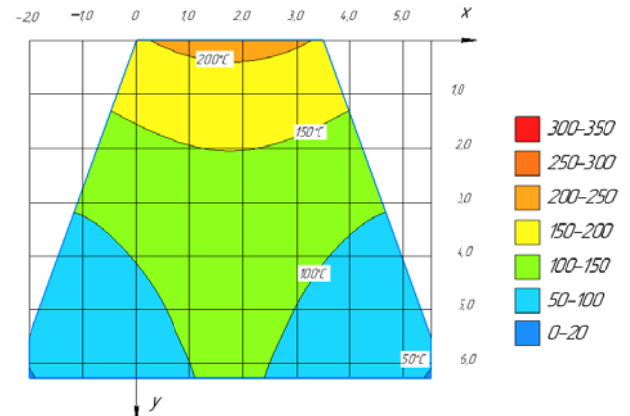


Рис. 6. Температурное поле зуба пилы в конце цикла (один оборот пилы) при $\tau = \tau_d = 0,06$ с

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{3N} = & \frac{T_k \cdot \sqrt{\tau_k}}{2\sqrt{\tau_d \cdot N}} \cdot \left\{ \exp \left[-\frac{y^2}{4\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N} \right] \cdot \left(\Phi \left[\frac{x}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}} \right] - \Phi \left[\frac{x-l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}} \right] \right) + \right. \\
 & + \exp \left[-\frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 + \arctg \frac{x}{y} \right) \right)^2}{4\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N} \right] \times \\
 & \times \left(\Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 + \arctg \frac{x}{y} \right) + l_3}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}} \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 + \arctg \frac{x}{y} \right)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}} \right] \right) + \\
 & + \exp \left[-\frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left(40 - \arctg \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot \sin 40 \right)^2}{4\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N} \right] \times \\
 & \times \left(\Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \arctg \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot (1 - \cos 40)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}} \right] - \right. \\
 & \left. - \Phi \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left(40 - \arctg \frac{x}{y} \right) - l_3 \cdot (2 - \cos 40)}{2\sqrt{\omega_3 \cdot \tau_d \cdot N}} \right] \right) \left. \right\}. \tag{22}
 \end{aligned}$$

Затем определяется суммарный нагрев поверхности зуба пилы от всех N циклов [2]:

$$\Delta T_{3N_2} = \Delta T_{3_1} + \Delta T_{3_2} + \Delta T_{3_3} + \dots + \Delta T_{3_N}. \tag{23}$$

Распределение температур по высоте зуба для $N = 5$ показано на рис. 7. Задняя поверх-

ность зуба пилы нагрелась выше 500°C на глубины около 1 мм.

Расчет температурного поля для 10 циклов (рис. 8) показал, что задняя поверхность нагревается выше 700°C , а основание зуба выше 300°C .

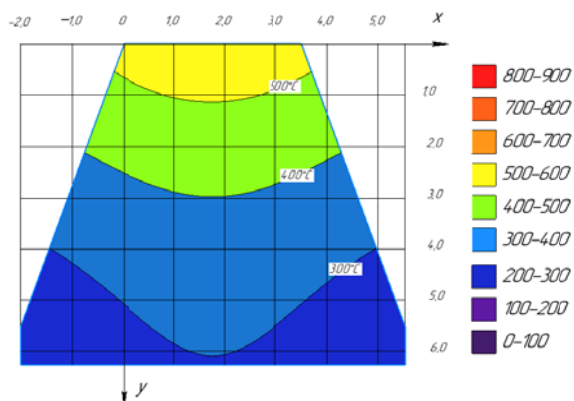


Рис. 7.- Температурное поле зуба пилы после пяти оборотов при $\tau = 0,3$ с

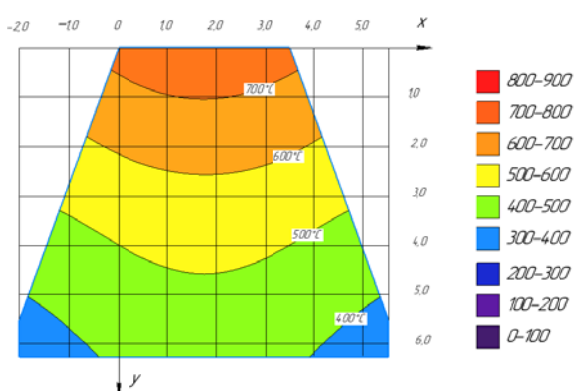


Рис. 8. Температурное поле зуба пилы после десяти оборотов при $\tau = 0,6$ с

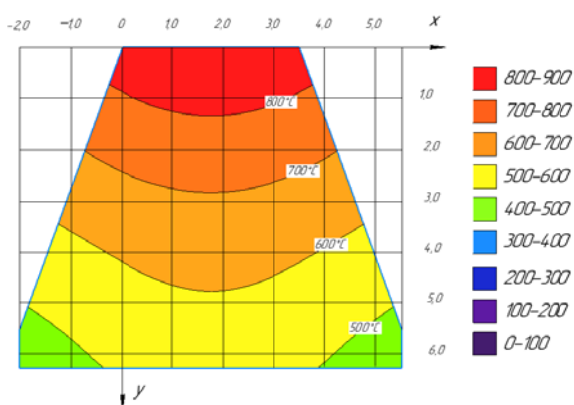


Рис. 9. Температурное поле зуба пилы после пятнадцати оборотов при $\tau = 0,9$ с

На рис. 9 показано распределение температуры через 15 оборотов пилы. Поверхность контакта нагревается выше 800 °С.

Выводы

Анализ рассчитанного температурного поля позволяет сделать вывод, что нагрев выше 600–700 °С на глубину более 5 мм от вершины зуба происходит уже на первой секунде реза.

В дальнейшем, с увеличением количества циклов N (оборотов пилы), интенсивность нагрева снижается, так как с нагревом задней поверхности зуба уменьшается разность температур между ней и обрабатываемой поверхностью. Но из-за большого количества циклов, требуемого для разрезания пакета труб, режущая часть пилы неуклонно нагревается.

Все это приводит к интенсивному деформированию вершины зуба (см. рис. 1) и к потере стойкости инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Повышение эффективности термофрикционной резки трубопроката / А. И. Банников, А. А. Банников, А. И. Курченко, Н. А. Дятлов, И. Л. Пермяков // СТИН. – 2010. – № 10. – С. 34–37.
2. Банников, А. И. Совершенствование процесса резания горячего металлопроката дисковыми пилами на основе управления теплофизическими явлениями в контактной зоне : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02. 07 / А. И. Банников ; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2018.
3. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981.– 279 с.
4. Коновалов, А. В. Теория сварочных процессов / А. В. Коновалов [и др.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2007.
5. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства материалов / В. С. Чиркин. – Рипол Классик, 2013.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-14-18

*А. И. Банников, О. А. Макарова, И. К. Шкурин, Д. Р. Зейналов***ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПИЛЫ ПАКЕТНОЙ РЕЗКИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: makar0vaolga@rambler.ru

Рассмотрен процесс пакетной резки холодного металлопроката, посчитаны нагрузки на зубья пилы пакетной резки.

Ключевые слова: пила пакетной резки, термофрикционное резание, SolidWorks Simulation.

*A. I. Bannikov, O. A. Makarova, I. K. Shkurin, D. R. Zejnalov***STUDY OF BATCH CUTTING SAW STRESSES****Volgograd State Technical University**

The process of batch cutting of cold rolled metal is considered, loads on the teeth of batch cutting saw are calculated.

Keywords: batch cutting saw, thermal friction cutting, SolidWorks Simulation.

В современной технологии резки используют CAD, CAM и CAE – системы, одним из видов CAE – системы является программный комплекс (ПК) SolidWorks Simulation. Особый интерес представляет моделирование напряжений, возникающих в дисковой пиле под действием на нее внешних сил и температур в зоне резания при скоростном резании пакета труб.

Процесс разрезания горячих и холодных заготовок широко применяется на станах металлургических предприятий. На салазковой пиле ТПЦ – 2 АО «ВТЗ» режут готовые трубы в размер перед отправкой потребителю. Основной проблемой является повышенный износ инструмента и связанное с этим образование заусенцев на торцах готовых труб, что недопустимо для готовой продукции.

Компьютерное моделирование позволяет оценить возникающие напряжения на участках рабочей поверхности диска пилы пакетной резки и прогнозировать его стойкость. Исследование работы пилы пакетного резания показало, что глубина внедрения зуба инструмента очень мала. Рассчитанная подача на зуб равна 2 мкм/зуб. Это позволяет сделать вывод, что данный процесс можно считать термофрикционным. Процесс термофрикционного резания дисковыми пилами наиболее полно исследован А. И. Банниковым в ряде работ [1; 2], посвященных скоростному резанию горячего проката. При контакте инструмента по задней грани с обрабатываемой поверхностью на высоких скоростях резания 100 м/с, происходит быстрое ее нагревание вследствие выделения тепла в процессе трения.

Данный процесс требует исследования деформаций зуба пилы под действием силовой нагрузки при нагреве его до температур резания.

В качестве объекта исследования, использовались трубы из нержавеющей стали 12Х13 различного диаметра (Ø42 и Ø121 мм).

Процесс скоростного резания рассматривался на пиле с геометрическими характеристиками приведенными в таблице. Пила изготовлена из стали 50ХГФА.

Основные геометрические характеристики пилы

Диаметр режущего диска, мм	2000
Высота зуба, мм	10,3
Толщина режущего диска, мм	8
Число зубьев, шт	400
Величина задней площадки, мм	3,5
Угол профиля	40°

Известны [3; 4] формулы (1) и (2) для расчета тангенциальной и нормальной составляющей силы резания соответственно:

$$T = 19,3 \cdot 10^9 \cdot l \cdot S_1 \frac{u_n}{v} \left(\frac{b}{t}\right)^{0,29} \left(\frac{\sigma_g}{\sigma_{эм}}\right)^{0,304}, \quad (1)$$

где l – длина контакта пилы с пакетом труб; S_1 – толщина диска пилы 0,008 м; u_n – горизонтальная подача инструмента 0,007 м/с; v – скорость вращения диска пилы 105 м/с; b – длина верхней грани зуба пилы 0,0035 м; t – шаг зубьев пилы (0,0157 м); σ_g – временное сопротивление разрезаемой стали 490 МПа; $\sigma_{эм}$ – временное сопротивление эталонной стали 440 МПа.

Расчет нормальной составляющей силы резания (2):

$$R = \frac{T}{\mu}, \quad (2)$$

$$\mu = (0,114 - 0,08 \cdot C) \left(\frac{l}{10}\right)^{-0,126} \times \left(\frac{v}{100}\right)^{-0,5} \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^{-0,38}, \quad (3)$$

где C – содержание углерода в разрезаемой стали.

В нашем случае формирование пакета происходит автоматически, выдвигные прижимы пилы фиксируют пакет труб со всех сторон (рис. 1)

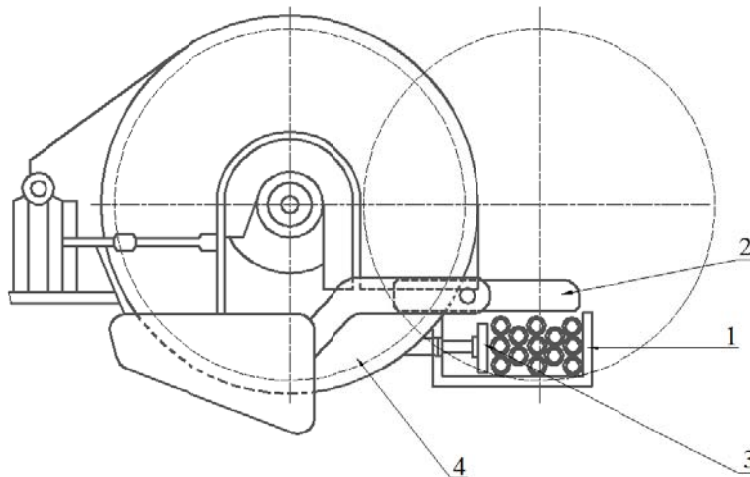


Рис. 1. Укладка труб в лоток салазковой пилы пакетной резки холодного металлопроката в цехе ТПЦ – 2 АО «ВТЗ»

Трубы подаются в нужном количестве по конвейеру в лоток 1, далее верхние прижимы 2 опускаются и ограничивают пакет сверху, затем боковые прижимы 3 поджимают трубы и держат их в зажатом состоянии. После всего этого, диск 4 начинает вращение и движется по направлению подачи, разрезая пакет.

В лоток можно уложить различное количество труб, в зависимости от их диаметра. Расчеты длины контакта для различного числа труб и различных диаметров показали, что длина контакта при продольном перемещении пилы имеет значительные колебания (рис. 2).

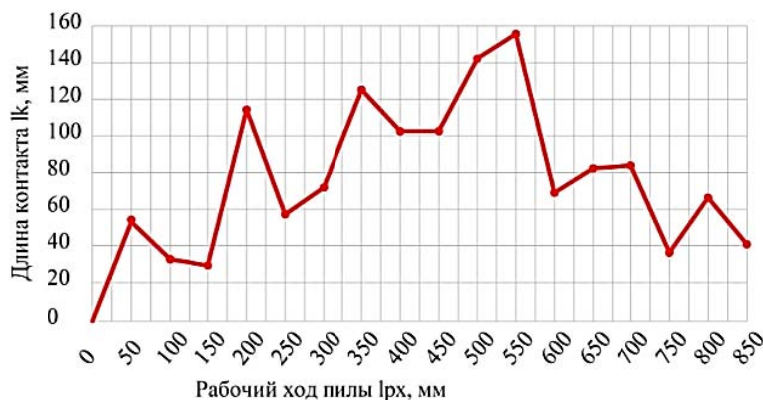


Рис. 2. График зависимости длины контакта l_k от рабочего хода $L_{p.x}$ для труб с наружным диаметром $D=121$ мм

Силы резания изменяются пропорционально длине контакта, это оказывает влияние на нагружение зубьев пилы.

Зная все эти данные, мы можем рассчитать силы резания по формулам (1) и (2). Для наглядности результаты были сведены в графики (рис. 3–6).



Рис. 3. Тангенциальная сила резания для пакета труб Ø42 (кН)

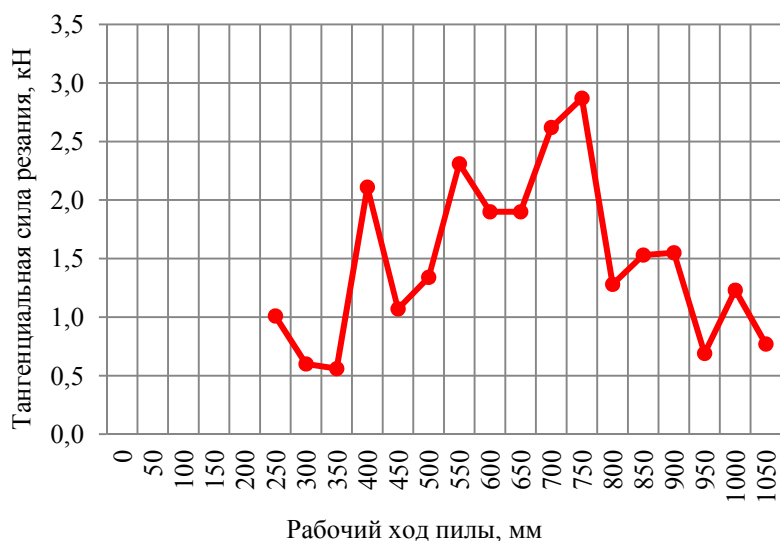


Рис. 4. Тангенциальная сила резания для пакета труб Ø121 (кН)



Рис. 5. Нормальная сила резания для пакета труб Ø42 (кН)

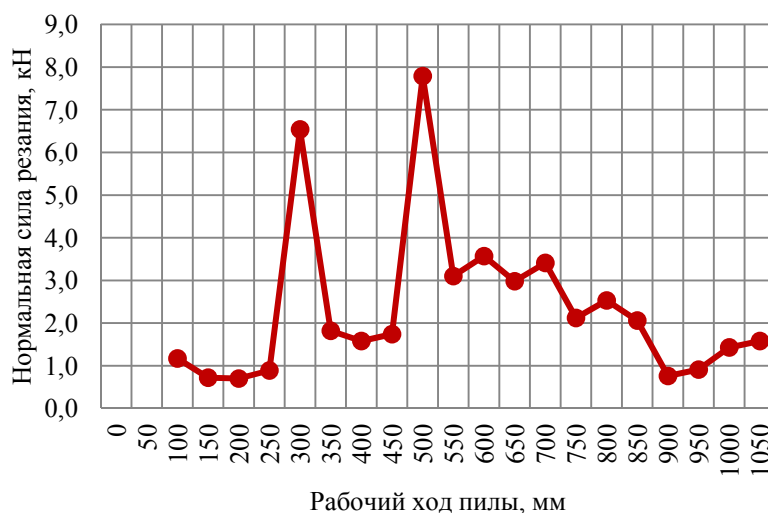


Рис. 6. Нормальная сила резания для пакета труб Ø121 (кН)

На данных графиках видны значительные изменения сил резания, приводящие к ударным нагрузкам и вибрациям при резании пакета труб. Поэтому для расчета берется средняя сила резания.

Получив эти данные, мы можем начать нагружать созданную модель в (ПК) SolidWorks Simulation.

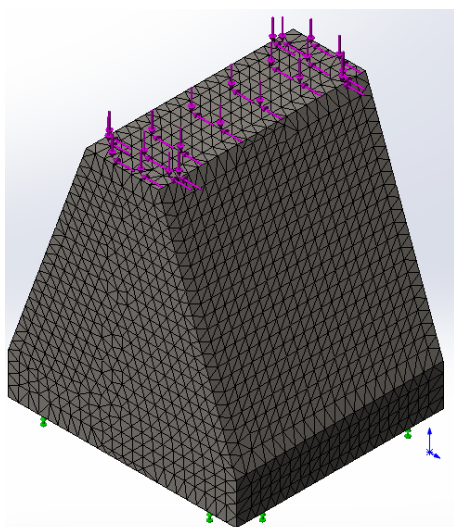


Рис. 7. Трехмерная модель зуба пилы

ПК SolidWorks Simulation основан на методе конечных элементов. В процессе моделирования нужно построить модель пилы или отдельного ее участка, к которому будут прикладываться внешние силы, указать сами силы, направление и величину в ньютонах, также деталь нужно зафиксировать, т.е. лишить ее всех степеней свободы.

Нагрузка трехмерной модели зуба пилы осуществляется средними значениями нормальной и тангенциальной сил резания. Нагружение производится совместно с заданием температуры по задней грани $T=1000$ °С. Жестко закрепив основание модели, выберем режущую грань и приложим к ней силы резания, по касательной к грани и нормально по направлению к центру диска. Далее создаем сетку, состоящую из множества ячеек размером 0.766625 мм, всего ячеек 13802 шт.

В результате моделирования получен вид зуба пилы со значительным деформированием вершины (рис. 8, 9), что отражает потерю геометрии и высокий износ.

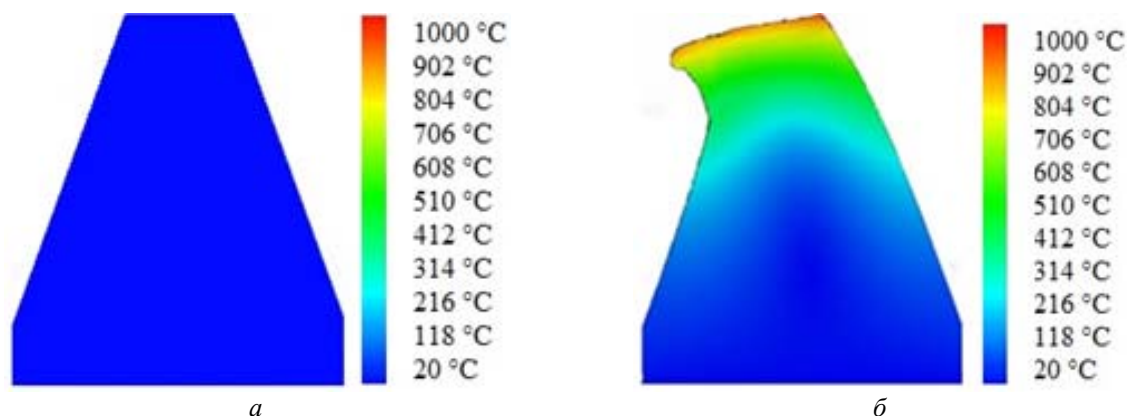


Рис. 8. Температура вершины зуба пилы:
а – до нагрузки; б – при нагружении

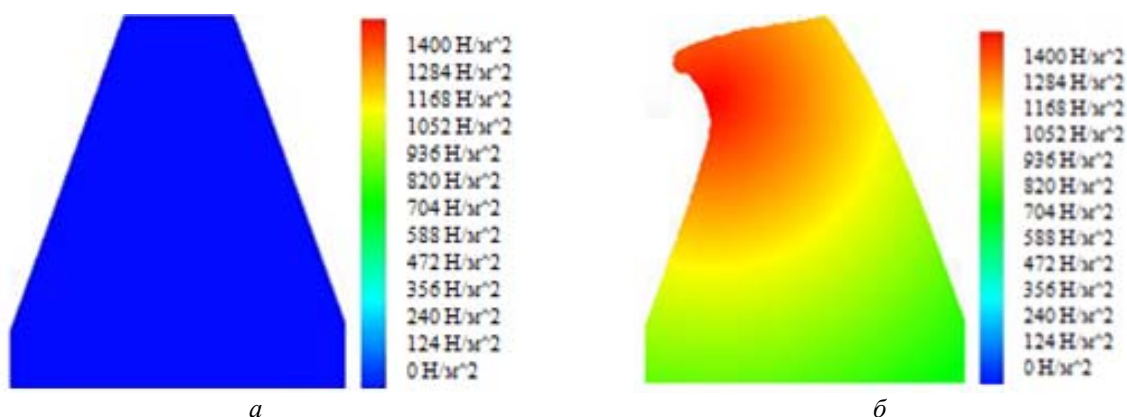


Рис. 9. Напряжения вершины зуба пилы:
а – до нагрузки; б – при нагружении

Сравнив полученные результаты с взятыми образцами изношенной пилы из цеха (рис. 10), мы увидим похожие деформации на зубьях.

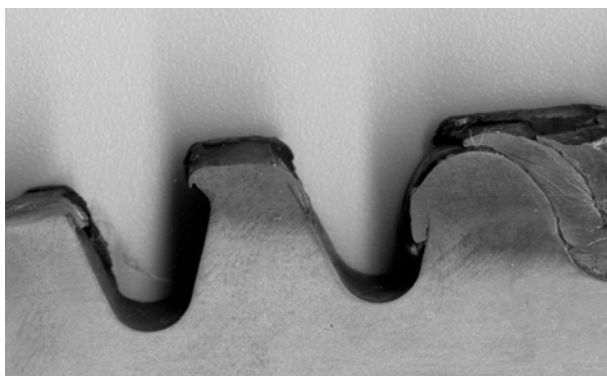


Рис. 10. Образец зубьев пилы после реза

Вывод

Применение пакета SolidWorks существенно упростит проектирование геометрии пилы

на начальных этапах. Значительные силовые и тепловые нагрузки приводят к катастрофическому износу зубьев пилы, выражающимся в деформации зуба и потере его геометрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ процесса термофрикционного резания горячего проката с использованием скоростной видеосъемки / А. И. Банников, А. А. Банников, О. А. Макарова, И. Л. Пермяков // СТИН. – 2014. – № 6. – С. 39–40.
2. Исследование размеров заусенца при термофрикционном резании / Ю. Н. Поляничков, А. И. Банников, А. И. Курченко, О. А. Макарова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 4). – С. 33–35.
3. Сеницкий, В. М. Машиностроение. Энциклопедия. Машины и агрегаты металлургического производства. Т. IV-5 / В. М. Сеницкий, Н. В. Пасечник. – М. : Машиностроение. – 2000. – Т. 912. – С. 1.
4. Шур, И. А. Машины и агрегаты металлургического производства / И. А. Шур, Н. А. Чиченев, С. М. Горбатюк. – 2009.

УДК 621.73.016+62-758.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-19-22

*Ц. А. Батуев, Э. Ц. Галсанова, А. Д. Грешилов***ОБОСНОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ,
ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ПРИ ГОРЯЧЕЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ ОКОВОК ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА****Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления**

E-mail: erjena_g@mail.ru

Исследовано влияние технологических параметров горячей листовой штамповки на формообразование деталей из титанового сплава – оковок для накладок винта вертолета.

Показано, что наиболее подходящим методом для изготовления таких деталей является горячая штамповка с предварительным нагревом. При этом основным технологическим требованием становится равномерность нагрева, необходимость исключить перемещение нагретых заготовок, а также негативные превращения в материале на микро- и макроуровнях.

Ключевые слова: титановый сплав, горячая листовая штамповка, радиационный нагрев.

*C. A. Batuev, E. C. Galsanova, A. D. Greshilov***SUBSTANTIATION OF MOST RATIONAL TECHNOLOGICAL
FACTORS INFLUENCING THE FORMATION PROCESS DURING
HOT SHEET STAMPING OF THE TITANIUM ALLOY FRAME****East Siberian State University of Technology and Management**

The influence of the technological parameters of hot sheet stamping on the shaping of parts made of titanium alloy - forgings for helicopter screw linings is investigated.

It is shown that the most suitable method for the manufacture of such parts is hot stamping with preheating. At the same time, the main technological requirement is the uniformity of heating, the need to exclude the movement of heated workpieces, as well as negative transformations in the material at micro and macro levels.

Keywords: titanium alloy, hot stamping, radiation heating.

Введение

В качестве противоабразивных накладок, защищающих передние кромки несущего винта вертолета в условиях песчаных и пыльных бурь, используют оковки из листового титанового сплава ОТ4-1 [1]. Титановый сплав имеет плотность меньше, а ударную вязкость выше, чем у нержавеющей стали, поэтому широко применяется в авиастроении наряду с дюралем и магниевыми сплавами, занимая свою особую нишу. К недостаткам титана относят высокую стоимость, низкую теплопроводность, высокую химическую активность при нагреве, приводящую к возникновению остаточных внутренних напряжений в оковках, окисление и газонасыщение титановых сплавов; плохие антифрикционные свойства, обусловленные налипанием титана на многие материалы, высокая склонность титана и многих его сплавов к водородной хрупкости и солевой коррозии, плохая обрабатываемость резанием, склонность к росту зерна при высокой температуре и фазовые превращения при сварочном цикле, затрудняющие сварку титана.

Требования, предъявляемые к оковкам для накладок винта вертолета [2]:

- материал детали ОТ4-1;
- профиль в поперечном сечении, согласованный с теорией лопасти (рис. 1);
- отклонения от теоретического контура должно быть не более 0,5 мм;
- отклонение лепестков от перпендикуляра к хорде допускается не более 1 мм;
- непрямолинейность оковки в согнутом виде не более 0,3 мм (рис. 1);
- оковка с внутренней стороны должна подвергаться пескоструйной обработке (разрешаемый вариант – травление);
- не допускается образование газонасыщенного (охрупченного слоя) на поверхности оковки.

Целью работы является обоснование выбора метода обработки металла давлением и обоснование параметров, входящих в математическую модель, описывающую напряженно деформированное состояние материала в каждой точке.

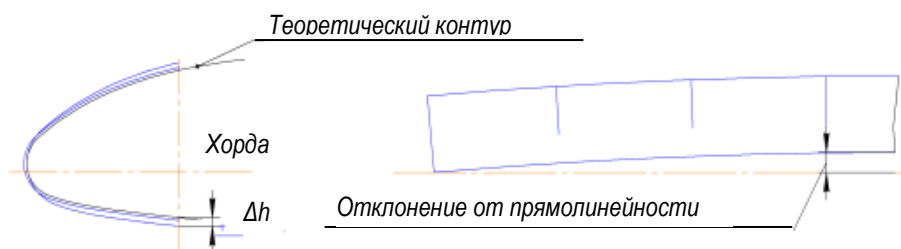


Рис. 1. Виды отклонений от профиля и расположения поверхностей оковки

Решение поставленной цели возможно при решении следующих задач:

- 1) исследование свойств материала;
- 2) исследование технологических факторов;
- 3) обоснование параметров, входящих в математическую модель, описывающую напряженно деформированное состояние материала в каждой точке.

Анализ и обоснование технологических параметров

Изготовление заготовок из листового титанового сплава ОТ4-1 осуществляется методом обработки металлов давлением, так как другие методы изготовления, например, литьем или сваркой, не применимы вследствие технологических свойств материала и требований, предъявляемых к оковкам (накладкам на винт).

Существует два основных способа получения заготовок из листового титанового сплава: холодная и горячая листовая штамповка, при которых листовый материал деформируется в холодном или нагретом состоянии в зависимости от температуры и скорости. Холодная листовая штамповка металла сопровождается интенсивным упрочнением (наклепом) с образованием больших остаточных напряжений. Зерна в сплаве приобретают вытянутую форму, а металл – строчечную структуру. Прочность металла в результате холодной деформации резко увеличивается, а пластичность существенно уменьшается. Холодная листовая штамповка осуществляется при температурах ниже температуры возврата и часто используется для получения деталей с особыми физико-механическими свойствами. В случае применения данного метода применяют дополнительную операцию – межоперационный отжиг, которая значительно снижает производительность изготовления оковок и повышает их стоимость. Листовая штамповка заготовок сложной формы из титанового сплава ОТ4-1 имеет недостатки, наиболее проявляющиеся при деформировании без подогрева [3; 4]:

1. Высокий предел прочности и близкий к нему предел текучести титановых сплавов определяет узкий диапазон пластического деформирования и высокое пружинение (значительные остаточные деформации) материала.

2. Низкая пластичность титановых сплавов при комнатной температуре (примерно в 2 раза меньше, чем у коррозионностойких сталей).

3. Относительно низкий модуль упругости титановых сплавов (примерно в 2 раза меньше, чем стали) [5]. Как следствие этого – пружинение деформируемого металла и коробление после штамповки.

Большое количество деталей сложной формы из труднодеформируемых материалов, в том числе противообразивные оковки (накладки) для лопастей вертолета, изготавливаются методом горячей штамповки.

При горячей листовой штамповке упрочнение, получаемое металлом в момент деформации, полностью снимается рекристаллизацией (разупрочнением), металл получает равноосную микроструктуру зерен. Размеры зерен в основном будут зависеть от температуры конца обработки давлением и степени деформации.

Таким образом свойства металла и требования к оковкам обуславливают выбор способа получения заготовок.

Основной недостаток заготовок, получаемых данным способом, пружинение вследствие повышенного значения отношения предела текучести к модулю упругости [6].

Обзор наиболее применяемых методов расчета пружинения показывает, что пружинение можно представить в виде Δr – соотношения заданного радиуса к радиусу детали, $\Delta \alpha$ – разницы между угламигиба и угла после разгрузки, σ остаточным напряжением после разгрузки, или величиной отклонения Δ_n – разности между теоретическим контуром и фактическим профилем оковки в крайних точках оковки рис. 2.

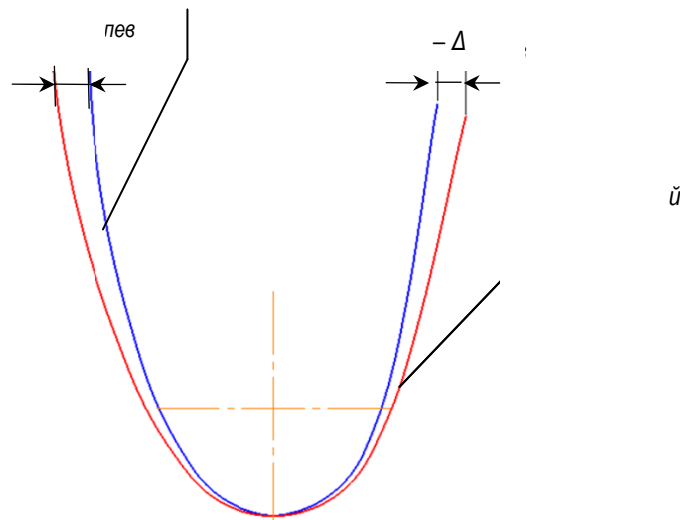


Рис. 2. Схема определений величины отклонения оковки от теоретического профиля

Абсолютное значение $\Delta_{\text{п}}$ определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{п}} = \Delta_{\text{лев}} + \Delta_{\text{прав}}, \quad (1)$$

где значения в формуле Δ подставляются с знаками плюс (+) или минус (-): знак плюс – фактический профиль оковки больше (шире) теоретического профиля, минус – фактический профиль оковки меньше (уже) теоретического профиля.

Эффективность выполнения штамповки зависит от штампуемости металла, которая обеспечивается технологическими свойствами металла, и определяется его механическими, физическими и другими свойствами и характеристиками, а также конструкторскими факторами, такими как совершенство схемы действия и конструкции штампа, способы интенсификации процесса деформации и т. д.

Показателями штампуемости [7] являются пружинение, минимальный радиус изгиба, степень изменения качества поверхности от деформации при изгибе. Пружинение прямо про-

порционально отношению предела текучести к модулю упругости, поэтому чем меньше предел текучести, тем лучше штампуемость. Чтобы получить заданную точность гибки, пружинение учитывают корректировкой размеров пуансона и матрицы и настройкой штампа. Такая корректировка эффективна, если предел текучести и отклонение его по толщине металла достаточно стабильны. Минимальный радиус изгиба зависит от пластичности металла, т.е. от величины ϵ_p , так как формоизменение ограничивается разрушением металла на выпуклой поверхности изогнутого участка. Если металл имеет грубую микроструктуру, крупную и неравномерную зернистость, то при изгибе, вследствие большой пластической деформации поверхностных слоев, может существенно ухудшаться микрогеометрия поверхности. При исследовании существующих схем нагрева наблюдается существенный разброс температур по листу, представленный на рис. 3, что вызывает нестабильность предела текучести и изменение микроструктуры.

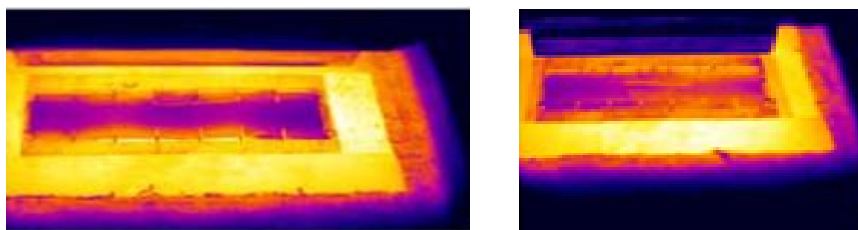


Рис. 3. Термограммы, полученные при исследовании существующих схем нагрева титановых заготовок перед горячей штамповкой

Таким образом, величину пружинения можно выразить как функцию, зависящую от технологических факторов, влияющих на процесс формообразования.

Важнейшим технологическим фактором, определяющим выбор термомеханических режимов, является технологическая пластичность металла в условиях обработки. Элементарный объем металлического тела переходит из упругого состояния в пластическое, когда напряжения достигают предела текучести. Предел текучести выражается S_d сопротивлением деформации при линейном напряженном состоянии в условиях, соответствующих температуре, степени и скорости деформации.

В таблице приведены значения сопротивления деформации при различной температуре [6]. При изменении температуры от 700 до 800 °C наблюдается значительный скачок сопротивления деформации. Это указывает на то, что неравномерность при нагреве по листу даст значительный градиент напряжений.

Значения сопротивления деформации $S_{d \max}$ сплава ОТ4-1 при различной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	$S_{d \max}$, МПа, при ϵ, c^{-1}				
	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2
700	123		277	301	308
800	55		114	143	164
900	23	–	41	65	76
1000	16		26	35	46
1100	12		21	27	40

Также в исследованиях [8] показано, что для сплава ОТ4-1 температура является фактором в большей степени определяющим значения удлинения и влияющим на напряжения, чем скорость деформации.

Выводы

Поэтому основной задачей обеспечения заданной точности гибки после рационального выбора термомеханических режимов процесса деформирования является обеспечение как можно более равномерного нагрева по поверхности листа заготовки и ее объему. В силу малости толщины заготовки для накладки винта вертолета (менее 1 мм) неравномерностью по объему можно пренебречь, в то время как задача равномерного нагрева по поверхности листа заготовки становится крайне существенной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 22178–76. Листы из титана и титановых сплавов. Технические условия (с Изменениями N 1–5). – М.: Стандартиформ, 2005. – 27 с.
- Грешилов, А. Д. Разработка технологии гибки титановых противобразивных оковок с применением радиационного нагрева / А. Д. Грешилов, Ю. Л. Шурыгин, Ю. П. Хараев // Ползуновский альманах. – 2010. – № 1. – С. 73–74.
- Горячая штамповка и прессование титановых сплавов / Л. А. Никольский, С. З. Зиглин, В. В. Бойцов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
- Аналитические зависимости для определения сопротивления деформации титановых сплавов / С. В. Харитонин, В. И. Степаненко, К. И. Литвинов и др. // Кузнечно-штамповое производство. – 1994. – № 11. – С. 5–6.
- Сторожев, М. И. Теория обработки металлов давлением / М. И. Сторожев, Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
- Илларионов, А. Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов : учеб. пособие / А. Г. Илларионов, А. А. Попов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – С. 10.
- Ковка и штамповка : справочник. В 4 т. Ред. совет: Е. И. Семенов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Холодная объемная штамповка / под ред. Е. И. Семенова, 1985. – 568 с.
- Омар Ахмед Омар Мослех. Сверхпластическая деформация титановых сплавов с разной исходной микроструктурой : дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 : защищена 2019 г. / Омар Ахмед Омар Мослех. – Москва, 2019. – 207 с.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-23-25

*А. В. Бобровский, О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова***АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ДВУХЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ****Тольяттинский государственный университет**

E-mail: ba838@yandex.ru

В статье приведено описание двухрезцовой установки для токарной обработки осесимметричных деталей. Технический результат – повышение точности и производительности токарной обработки за счет самовыравнивания сил резания на резцах. Это достигается за счет того, что установка содержит корпус и резцедержатель цилиндрической формы, ось которого направлена перпендикулярно оси заготовки. Резцедержатель установлен в опоры качения во вращающейся сборной втулке, которая через подшипники установлена в корпусе и связана с приводом вращения втулки. Поворот резцедержателя вокруг своей оси относительно сборной втулки ограничен шпонкой. Настройку резцов на размер проводят клиновым механизмом.

Ключевые слова: двухрезцовый суппорт; осесимметричная деталь; эксплуатационная точность; производительность.

*A. V. Bobrowski, O. I. Drachev, I. Yu. Amirdzhanova***ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF THE INSTALLATION
FOR TWO-HOLE SHAFT PROCESSING****Togliatti State University**

The article presents the description of the two tool setup for turning axisymmetric parts. The technical result is an increase in the accuracy and productivity of turning due to self-leveling cutting forces on the cutters. This is achieved due to the fact that the installation contains a body and a tool holder of a cylindrical shape, the axis of which is directed perpendicular to the axis of the workpiece. The tool holder is installed in the rolling bearings in the rotating bushing Assembly, which is installed in the housing through the bearings and is connected to the bushing rotation drive. The rotation of the tool holder around its axis relative to the bushing Assembly is limited by the key. Setting the size of the incisors is carried out with a wedge mechanism.

Keywords: two-tool caliper; axisymmetric part; operational accuracy; productivity.

В машинах и приборах имеется ряд деталей, таких как, например, роторы компрессоров и насосов, трансмиссионные валы, механическую обработку которых ведут с низкой производительностью большим отношением длины к диаметру более десяти. Трудности, возникающие при обработке маложестких деталей, вызваны главным образом значительными упругими деформациями, приводящими к большим погрешностям обработки [1; 2]. Во многих случаях, из-за низкой виброустойчивости упругой системы, возникают вибрации [2; 3], что серьезно осложняет механическую обработку. Неравномерность съема металла порождает переменные остаточные напряжения [4; 5], последнее приводит к короблению валов.

Задача, на решение которой направлена разработка, заключается в повышении точности обработки, достигаемой за счет самоуравновешивания сил резания на резцах и снижения динамических возмущений в зоне резания, повышения жесткости технологической сис-

темы. Это решается тем, что установка для токарной обработки содержит корпус и резцедержатель цилиндрической формы. Резцедержатель установлен в цилиндрической выточке сборной втулки, а сборная втулка размещена в корпусе. Он имеет возможность поворота в сборной втулке вокруг оси перпендикулярно оси заготовки, а сборная втулка имеет возможность вращения вокруг оси, причем сборная втулка связана с приводом вращения. Поворот резцедержателя вокруг своей оси относительно сборной втулки ограничен шпонкой, установленной в резцедержателе с натягом.

Общий вид установки для токарной обработки иллюстрируется рисунком.

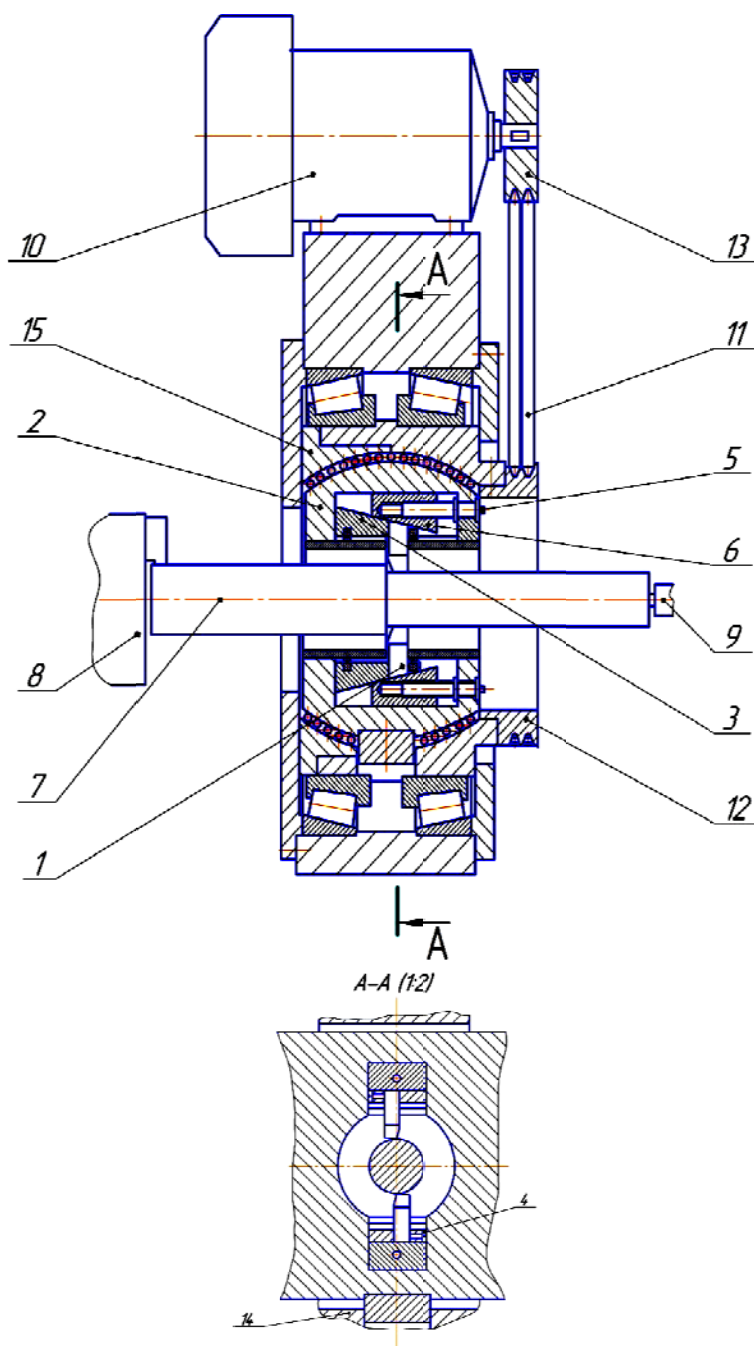
Установка работает следующим образом. Оба резца 1 в цилиндрическом резцедержателе 2 закрепляют в клиньях 3 винтами 4. Далее вращением винтов 5, которые перемещают клинья 6 относительно клиньев 3 с резцами 1, выставляют определенный размер обработки с исполь-

зованием любых известных способов настройки. Заготовка 7 устанавливается в патроне 8 станка и поджимается задним центром 9. После этого включается механизм подачи, и суппорт с устройством для двухрезцовой токарной обработки перемещается вдоль заготовки 7.

Электродвигатель 10 при этом вращается с заданной частотой и через ременную передачу 11 и шкивы 12 и 13 вращает сборную втулку 14 с замыкающей частью 15 с цилиндрическим резцедержателем 2.

Из-за колебаний припуска, твердости обрабатываемой поверхности возникает разница осевых составляющих сил резания на противоположных резцах 1. За счет этого возникает момент, который поворачивает цилиндрический резцедержатель 2 до тех пор, пока силы резания на противоположных резцах не уравниваются.

За счет стабилизации площади снимаемого слоя, силы резания, как и остаточные напряжения, стабилизируются, что и способствует повышению точности геометрии детали.



Общий вид установки

Установка резцедержателя в сборной втулке повышает жесткость технологической системы путем создания силового замыкания резцедержателя с двух сторон.

Установка сборной втулки в корпусе обеспечивает дополнительную степень свободы резцедержателю.

Поворот резцедержателя в сборной втулке вокруг оси, перпендикулярной оси заготовки, дает возможность его самоустановки, что обеспечивает выравнивание сил резания на резцах, закрепленных в резцедержателе.

Ограничение поворота резцедержателя вокруг своей оси относительно сборной втулки шпонкой, установленной в резцедержателе с натягом, а в сборной втулке с зазором, величина которого определяется максимально допустимым углом поворота резцедержателя, ограничивает динамические нагрузки на резцы, максимальную величину шероховатости обработанной поверхности.

Установка резцедержателя в опоры качения повышает чувствительности системы к разнице усилий на резцах за счет снижения коэффициента трения.

Опоры качения упрощают конструкцию установки, снижают давление в зоне контакта опорных элементов с резцедержателем и втулкой.

Испытание опытно-промышленного образца проводилось на токарном станке 1А616. Геометрические параметры обработанных ва-

лов: длина 450 мм, диаметр варьировался от 20 мм до 30 мм, материал заготовки сталь 40ХН и сталь 40Х13, геометрия инструмента $\varphi=36^\circ$, $\varphi'=24^\circ$, сечение державки резца 16×20 , вылет 25 мм, скорость резания $V=100 \dots 150$ м/мин, глубина резания t от 1 мм до 4 мм, подача $S=0,054 \dots 0,11$.

Точность обработки валов поперечных сечений повысилась в 1,33...1,5 раза, производительность увеличилась на 30...35 % путем увеличения подач и глубины резания без потери виброустойчивости, шероховатость поверхности уменьшилась с $Ra_{2,0}$ до $Ra_{0,63}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Безъязычный, В. Ф.* Расчет остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при механической обработке с учетом структурировано-фазовых превращений / В. Ф. Безъязычный, И. О. Тихомирова // Вестник машиностроения. – 1993. – № 5–6. – С. 22–24.
2. *Драчев, О. И.* Технология изготовления маложестких осесимметричных деталей / О. И. Драчев. – СПб. : Политехника, 2005. – 265 с.
3. *Кудинов, В. А.* Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967 – 360 с.: ил.
4. Патент 2256543 Российской Федерации С2В23Q15/12 Устройства для автоматического регулирования скорости подачи инструмента при механической обработке / О. И. Драчев, А. В. Сергеев. – Оpubл. 2005, БИ №20. – 6 с.: 2 ил.
5. А. с. 1154052 СССР, 1154052А В 25/06. Устройство для токарной обработки / О. И. Драчев, Тараненко // Бюл. – 1985. – № 17. – 5 с.: 8 ил.

УДК 621.9.06-529.001.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-25-28

А. В. Бобровский, О. И. Драчев, И. Ю. Амирджанова

ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССА С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Тольяттинский государственный университет

E-mail: doi05@mail.ru

В статье дано краткое описание процесса изготовления маложестких длинномерных осесимметричных деталей типа «вал» двух основополагающих операций – холодной правки и механической обработки. Доказано, что при механическом воздействии на заготовку действуют случайные взаимодействия за счет неоднородностей текстуры. Эти воздействия приводят к возбуждению колебаний всех частей, но передача энергии осуществляется на частоте, близкой к резонансной. Неоднородности напряжений можно учесть как случайные, дельта-коррелированные изменения частоты системы. Анализируется механизм поглощения энергии кристаллитами (зернами), за счет которого и происходит перераспределение напряжений.

Ключевые слова: маложесткая деталь; автоматическое управление; процессы правки и механической обработки; внешние случайные воздействия; напряжения.

A. V. Bobrovskiy, O. I. Drachev, I. Yu. Amirdzhanova

**THE TECHNOLOGY OF PROCESSING AXISYMMETRIC PARTS WITH
AUTOMATIC CONTROL OF THE MACHINING PROCESS,
TAKING INTO ACCOUNT EXTERNAL RANDOM INFLUENCES**

Togliatti State University

The article gives a brief description of the manufacturing process of non-rigid parts of two fundamental operations - dressing and machining. It is proved that during mechanical action on the workpiece random interactions due to texture inhomogeneities act. These effects lead to the excitation of oscillations of all parts, but energy is transferred at a frequency close to the resonant. Stress inhomogeneities can be taken into account as random, delta – correlated changes in the system frequency. The mechanism of energy absorption by crystallites (grains) is analyzed, due to which stress redistribution occurs.

Keywords: non-rigid part; automatic control; dressing and machining processes; external random influences; voltage.

Известные технологические приемы обработки маложестких деталей, даже изготовленных с заданной геометрической точностью, не обеспечивают заданных параметров. Готовые изделия теряют свою точность в процессе эксплуатации за счет проявления технологической наследственности – перераспределения напряжений в заготовке, начиная со стадии ее формирования (прокатки, механической обработки, правки и пр.).

Одним из путей устранения влияния остаточных напряжений на геометрическую форму детали является выравнивание поверхностных напряжений до и после механической обработки за счет управляемого процесса поверхностно-пластическим деформированием. Для этого перед механической обработкой заготовку автоматически правят путем установки ее в самоцентрирующие парные кольцевые люнеты [1], придают ей вращение и прикладывают заданные усилия правки в каждой паре кольцевых люнетов, соответственно равные величине и противоположные по направлению.

Силу воздействия для автоматического самоцентрирования заготовки в кольцевых люнетках задают исходя из геометрических параметров последней, величины максимального первоначального прогиба и физико-механических свойств ее материала. Скорость автоматического самоцентрирования определяют и задают на основании динамической устойчивости упругой системы станка и приспособления, а продолжительность цикла правки на данном этапе определяют автоматически, исходя из равенства реакций от переменных составляющих сил в средней и крайних парах кольцевых люнетов. Усилия правки в люнетках увеличивают до полного равенства переменных составляющих реакций, меняющихся с частотой вращения заготовки. При достижении минимальной разности ам-

плитуд реакций в люнетках, заготовку перемещают возвратно-поступательно вдоль ее оси [2].

При механической обработке [3], от прохода к проходу, управляют угловым положением инструмента поворотом относительно оси Z, проходящей через его вершину, что позволяет управлять площадью сечения снимаемого слоя материала в течение одного оборота заготовки, в функции изменения припуска. Варьируя площадь срезаемого слоя в течение одного оборота заготовки, можно добиться равномерного распределения остаточных напряжений на поверхности обрабатываемой детали, а следовательно, сохранить полученную точность формы детали в процессе обработки в течение заданного срока ее эксплуатации.

Для простоты анализа рассмотрим закрепленные в самоцентрирующие кольцевые люнетки заготовку как одномассовую систему. Неоднородности структуры и напряжений учтем введением случайных параметров. Динамическая система в этом случае описывается системой уравнений

$$\frac{dx}{dt} = y$$

$$\frac{dy}{dt} = -2\gamma y - \omega_0^2 [1 + z(t)] + f_0 \cos \Omega t + f(t), \quad (1)$$

где γ – коэффициент затухания; ω_0 – собственная частота однородной системы; $z(t)$ – случайная функция времени, которая описывает изменение частоты за счет флуктуаций модуля упругости и др.; $f_0 \cos \Omega t$ – приведенная сила за счет вращения заготовки; $f(t)$ – случайная приведенная сила, возникающая за счет неоднородностей напряжений.

Вначале рассмотрим воздействие случайной силы на гармонические колебания ($z(t) = 0, f_0 = 0$), так как в этом случае уравнение (1) решается аналитически. Тогда передаточная функция системы

$$\omega(p) = \frac{1}{p^2 + 2\gamma p + \omega_0^2}$$

Внешнее силовое воздействие в кольцевых люнетах будем считать «белым шумом», а установившееся движение системы будет представлять собой стационарный процесс со спектральной плотностью

$$F(\omega) = \sigma_f^2 / 2\pi \times |\varphi(\omega)|^2$$

Спектральная плотность характеризует распределение энергии

$$\left[\xi(t) = \int_0^\infty e^{i\omega t} d\phi(\omega) \right]$$

случайного процесса $[\xi(t) = \int_0^\infty e^{i\omega t} d\phi]$ по составляющим его элементарным колебаниям в зависимости от частоты ω .

В нашем случае спектральная плотность

$$F(\omega) = \left(\frac{\sigma_f^2}{2\pi}\right) [(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\gamma\omega^2]^{-1} \quad (2)$$

Она имеет максимум при $\omega^2 = \omega_0^2 - \gamma^2$. Это говорит о том, что в случайном процессе резко преобладают «элементарные» колебания

$$\langle x^2(t) \rangle = \frac{1}{2} \omega_0^2 \left\{ (\sigma^2 \omega_0^2 - 2\gamma) t \left[1 - \exp\left(c - \frac{3}{2}\sigma^2 \omega_0^2 t\right) \cos 2\omega_0 t \right] \right\} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что параметрическое возбуждение системы имеет место, если

$$\sigma^2 \omega_0^2 > 2\gamma \quad (4)$$

Если внешнее воздействие $f(t)$ – тоже гаус-

с частотами, близкими к собственной частоте ω_0 рассматриваемой системы.

Средняя амплитуда случайных колебаний, заданных случайным процессом, $\langle A \rangle = \int_0^\infty F(\omega) d\omega$. Таким образом, если $\gamma^2 \ll \omega^2$, то случайные влияния воздействия играют преимущественную роль по сравнению с периодической силой (считаем, что $\Omega \neq \omega_0$).

Учтем теперь случайные изменения частоты в выражении (1). Тогда решение его – простейшая задача, не допускающая решения в явном виде. Выражение для совместной плотности вероятностей величин x и y имеет вид операторного уравнения. Для дельта-коррелированных флюктуаций

$$\langle z(t)z(t') \rangle = 2\sigma^2 \delta(t - t').$$

Как следует из работы [2], выражение для плотности принимает вид уравнения Эйнштейна – Фоннера. При отсутствии внешних воздействий среднее значение квадрата смещения имеет вид

совский коррелированный процесс $\langle f(t)f(t') \rangle = 2\sigma^2 f \delta(t - t')$, то уравнение для вторых моментов в этом случае выглядит как система уравнений

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dt}\right)\langle x^2 \rangle &= 2\langle xy \rangle; \left(\frac{d}{dt}\right)\langle xy \rangle = \langle y^2 \rangle - 2\gamma\langle xy \rangle - \omega_0^2\langle x^2 \rangle; \\ \left(\frac{d}{dt}\right)\langle y^2 \rangle &= -\varphi\gamma\langle y^2 \rangle - 2\omega_0\langle xy \rangle + 2\sigma^2\omega_0^2\langle x^2 \rangle + 2\sigma^2 f^2 \end{aligned}$$

Стационарное решение этой системы существует при выполнении условия (4)

$$\begin{aligned} \langle xy \rangle &= 0\langle x^2 \rangle = \sigma_f^2 / [\omega_0^2(\sigma_0^2 - 2\gamma^2)], \\ \langle y^2 \rangle &= \omega_0^2\langle x^2 \rangle. \end{aligned}$$

Среднее значение первых моментов ($\langle x \rangle = \langle y \rangle = 0$) такое же, как и при любых колебаниях.

Как следует из выше изложенного, влияние внешних воздействий сводится к установлению стационарных средних значений, т. е. величины поглощаемой энергии. Условия же возбуждения определяются внутренними параметрами системы уравнения. Энергия, поглощаемая системой, расходуется на выравнивание неоднородностей, поэтому σ^2 (дисперсия) медленно уменьшается со временем

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 \exp\left[-(t/\tau)\right],$$

где τ – постоянная времени, характерная для конкретной системы.

Следовательно, если выполнено условие $\sigma_0^2 \omega_0^2 > 2\gamma, t = 0$, то с течением времени колебания увеличиваются. Амплитуда колебаний достигает максимума в момент времени $t = \tau[\ln(\sigma^2 \omega_0^2 / 2\gamma)]^{-1}$. То обстоятельство, что $\langle x^2 \rangle \rightarrow \infty$ означает почти мгновенное исчезновение неоднородностей, параметрическое возбуждение системы невозможно.

Время релаксации t зависит от частоты вращения: $\Omega: \tau = \tau_0 \Omega^{-1}$.

Чтобы оценить τ_0 , нужно рассмотреть процесс поглощения энергии в твердом теле. Энергию, которая расходуется на перераспределение напряжений в поликристаллическом теле, можно определить через коэффициент поглощения упругих волн [5].

Если длина волны $\lambda \gg a$, где a – размеры отдельных кристаллитов (в нашем случае поглощение велико вблизи $\omega = \omega_0$).

Так как $a \approx 10^{-3} \text{ м}$, $v = 10^3 \text{ м/с}$, $\omega_0 \approx 10^2 \div 10^3$, то $\lambda = v/\gamma \approx 0.1 \text{ м}$, $\lambda \gg a$, то можно считать, что каждый кристаллит подвергается воздействию равномерно распределенного давления. Ввиду анизотропии кристаллитов и граничных условий на поверхностях их соприкосновения возникающая при этом деформация неоднородна. Она будет испытывать существенные изменения (порядка величины ее самой) на протяжении размеров кристаллита, а не на протяжении длины волны [5].

Этот механизм поглощения и приводит к перераспределению напряжений. Поглощение колебаний обусловлено прежде всего теплопроводностью, а не вязкостью, так как градиенты температуры в пределах кристаллита аномально велики.

Если $\omega^2 \ll \chi/a^2$, где χ – теплопроводность материала, то коэффициент поглощения

$$F(\omega) \approx (T\alpha^2 \rho v_0^2 / \chi c) \omega^2,$$

где α – коэффициент температурного расширения; ρ – плотность; v – скорость звука; c – теплоемкость.

Коэффициент поглощения находится интегрированием

$$\Gamma = \int_0^\infty \Gamma(\omega) F(\omega) d\omega / \int_0^\infty F(\omega) d\omega,$$

где $F(\omega)$ – спектральная плотность (определена по формуле (2)). Для численной оценки, очевидно, что $\tau_0^{-1} \sim F$.

В данной статье показано, что при механическом воздействии на заготовку действуют случайные взаимодействия за счет неоднородностей текстуры. Эти воздействия приводят к возбуждению колебаний всех частей, но передача энергии осуществляется в основном на частоте, близкой к резонансной. Неоднородно-

сти напряжений можно учесть как случайные, дельта коррелированные изменения частоты системы. При достаточно больших флуктуациях возникают параметрические стохастические колебания, которые ведут к уменьшению неоднородностей. Время релаксации t_p , т. е. время, за которое исчезают флуктуации напряжений, определяется соотношением между дисперсией флуктуаций, собственной частотой и коэффициентом затухания; оно обратно пропорционально частоте вращения

$$t_p = \tau_0 [\Omega \ln(\sigma_2 \omega_0^2 / 2\gamma)]^{-1}$$

Анализируется также механизм поглощения энергии кристаллитами (зернами), за счет которого и происходит перераспределение напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драчев, О. И. Технология изготовления маложестких осесимметричных деталей : монография / О. И. Драчев ; Тол. полит. инст. – Тольятти : Изд-во Москва, 2012. – 285 с.
2. А. с. 1653260 СССР. МКИ В23Q15/00. Способ автоматического управления процессом правки осесимметричных деталей и устройство для его реализации / О. И. Драчев ; заявитель и патентодержатель Тольяттинский политехнический институт. – №4698346; заявл. 31.05.89; опубл. 01.02.1991 Бюл. №8. – 20 с.
3. Пат. 2256543 Российская Федерация, МПК В23Q15/12. Устройство для автоматического регулирования скорости подачи инструмента при механической обработке / О. И. Драчев ; заявитель и патентодержатель Тольяттинский государственный университет. – №2003121549/02; заявл. 11.07.03; опубл. 27.02.05. Бюл. №20. – 7 с.
4. Кляцкин, В. И. Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах / В. И. Кляцкин. – М. : Наука, 1980. – 327 с.
5. Ландау, Л. Д. Теория упругости / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1965. – 323 с.

УДК 621.565.93

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-28-32

С. Е. Божкова, В. М. Ящук

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Волгоградский государственный технический университет
E-mail: bozhkova@mail.ru

Рассмотрена конструкция пластинчатого теплообменника, широко используемого в пищевой промышленности. Предлагаются ее усовершенствования, заключающиеся в изменении формы пластин, разделяющих теплоносители, и мест ввода-вывода потоков. Модернизированная конструкция теплообменника имеет улучшенные эксплуатационные и массогабаритные характеристики, повышенную герметичность и обеспечивает высокие коэффициенты теплопередачи.

Ключевые слова: теплообмен, теплообменник, плиты, пластинчатый теплообменник, молоко, жидкая пищевая продукция.

S. E. Bozhkova, V. M. Yaschuk

MODERNIZATION OF PLATE HEAT EXCHANGER FOR THE FOOD INDUSTRY

Volgograd State Technical University

The article considers the design of a plate heat exchanger widely used in the food industry. Its improvements are proposed, which consist in changing the shape of the plates that separate the heat carriers and the places where the flow input and output is located. The upgraded design of the heat exchanger has improved performance and weight-and-size characteristics, increased tightness and provides high heat transfer coefficients.

Keywords: heat transfer, heat exchanger, frame, plates heat exchanger, liquid food products.

При создании современных теплообменных аппаратов необходимо удовлетворить предъявляемые к ним требования, такие как соблюдение условий протекания технологического процесса, высокий коэффициент теплопередачи, низкое гидравлическое сопротивление аппарата, устойчивость теплообменных поверхностей к коррозии, доступность поверхности теплопередачи для чистки, технологичность конструкции с точки зрения изготовления, экономное использование материалов и др. [1; 2].

Целью данной работы являлась модернизация конструкции пластинчатого теплообменника, используемого для охлаждения жидких пищевых сред (в частности, молока и жидкой молочной продукции) в технологических линиях на предприятиях малой мощности, обеспечивающая

интенсификацию теплообменных процессов.

На рис. 1 показан пластинчатый теплообменник, который содержит:

- станину, которая с одной стороны устройства прикрепляется к неподвижной прижимной плите и служит элементом опоры;
- пакет гофрированных пластин, образующий между составляющими элементами каналы для теплоносителя;
- раму, состоящую из подвижной прижимной плиты, неподвижной прижимной плиты и задней стойки;
- кожух, защищающий аппарат от внешних воздействий;
- шпильки, размещены по краю отверстий, через которые в устройство вводится и выводится теплоноситель;

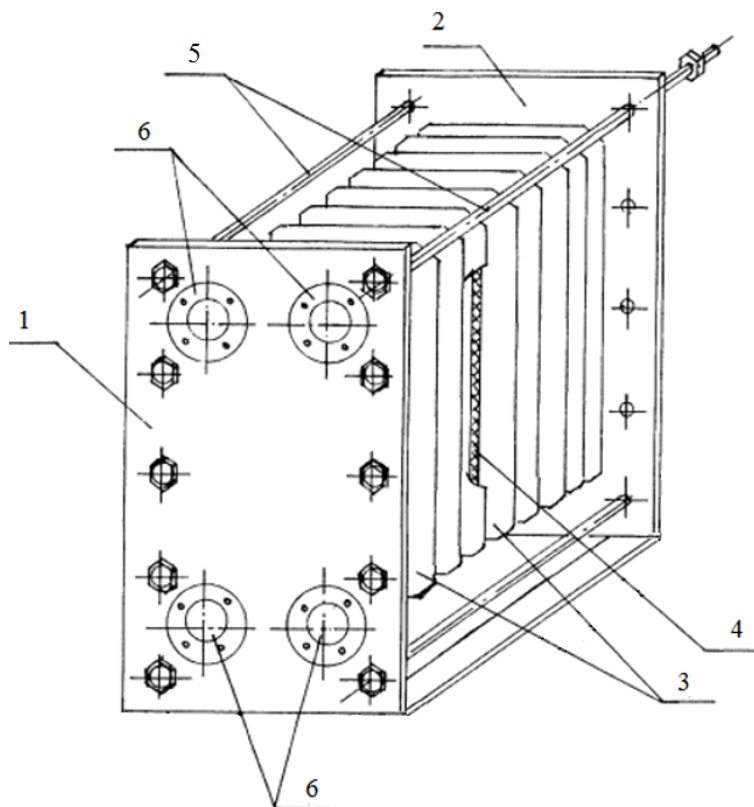


Рис. 1. Теплообменник пластинчатый разборный:

1 – передняя плита (опорная); 2 – задняя плита (прижимная); 3 – теплообменные пластины;
4 – уплотнение; 5 – стяжные шпильки; 6 – патрубки для входа и выхода рабочих сред

– прокладки, обеспечивающие герметичность каналов;

– опорные и крепежные элементы (направляющие балки, несущая база, лапы станины и рамы, болты, гайки, шайбы).

Теплообменные пластины навешиваются на верхнюю и опираются на нижнюю несущие балки, также служащие и для центровки теплообменных пластин. Они, одна за другой, размещаются между опорной и прижимной плитами, образуя пакет, стягиваемый в монолитный узел с помощью болтов.

Пластины выполнены с различными штампованными объемными элементами – гофрами, вызывающими турбулизацию потока, благодаря чему коэффициенты теплоотдачи в пластинчатых теплообменниках значительно выше, чем в трубчатых и змеевиковых теплообменниках при одинаковом гидравлическом сопротивлении.

Пластины отделены друг от друга резиновыми или силиконовыми прокладками двух назначений:

– большое резиновое кольцо, ограничивающее на лицевой стороне пластины канал для соответствующего потока жидкости и, охватывающее также два угловых отверстия (с одной стороны пластины или по диагонали) для подвода и отвода жидкости;

– малые резиновые кольца, изолирующие также два отверстия и создающие транзитный проход для другого потока жидкости.

Фотография теплообменной пластины (рис. 2) дает представление о возможной форме гофр и расположению уплотнительных прокладок.

Система уплотнительных прокладок пластинчатого аппарата построена так, что после сборки и сжатия гофрированных пластин в аппарате образуются две системы каналов: одна для нагреваемой жидкости, другая для теплоносителя. Одна из этих систем состоит из нечетных каналов, между пластинами, а другая –

из четных, благодаря чему потоки греющей и обогреваемой жидкостей чередуются.

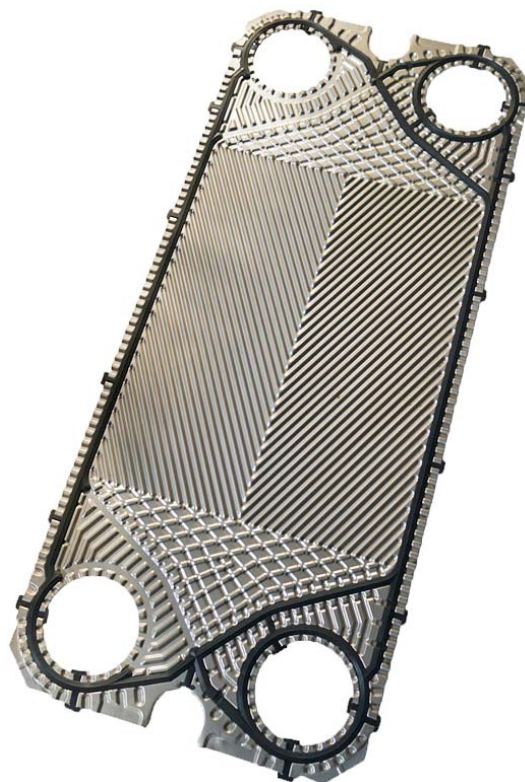


Рис. 2. Вид теплообменной пластины

Обе системы каналов соединяются со своими штуцерами для входа и выхода жидкостей. Материал прокладок ограничивает максимальную рабочую температуру – до 260 °С, номинальная температура составляет 150 °С во избежание использования прокладок из дорогостоящих материалов. Из-за значительной длины прокладок пластинчатые теплообменники не используются для теплоносителей при глубоком разрезении.

Характеристика материалов прокладок, параметров и условий эксплуатации теплообменников представлена в табл. 1 и 2 [2; 3].

Таблица 1

Материалы для прокладок

Используемые материалы	Назначение
Нитриловый каучук	Общее применение, маслостойкий материал
EPDM (синтетический каучук)	Общее применение, повышенные температуры
Фирменный материал HeatSeal™	Высокие температуры, особенно при нагревании паром

Таблица 2

**Некоторые геометрические параметры и условия эксплуатации
пластинчатых теплообменников**

Параметр, условие	Значение
Геометрические параметры	
Максимальная поверхность теплообмена	до 2500 м ²
Количество пластин	3÷700
Присоединительные размеры фланцев	до 400 мм
Параметры пластин	
Толщина пластин	0,5÷1,2 мм
Размеры пластин	0,03–3,6 м ²
Высота каналов, образованных пластинами	1,5÷7 мм
Ширина пластин	70÷1200 мм
Длина пластин	0,4÷5 м
Гидравлический диаметр	2÷10 мм
Поверхность теплообмена одной пластины	0,02÷5 м ²
Режимные параметры	
Рабочее давление	0,1÷3,0 МПа
Рабочая температура	40÷260 °С
Максимальная скорость (для жидкости) во входном патрубке	6 м/с
Расход теплоносителя через один канал	0,05÷12,5 м ³ /ч
Максимальный расход	2500 м ³ /ч
КПД	93%
Коэффициент теплоотдачи в каналах	3000–8000 Вт/(м ² ·К)

Коррозионная агрессивность сред рабочих сред увеличивается по мере насыщения растворов кислыми компонентами, повышения температуры и соответствующего снижения рН.

В качестве конструкционного материала для изготовления пластин теплообменников целесообразно использовать стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, 12Х17Н13М3Т [3].

Для крепежных изделий используется сталь 20 [3].

Пластинчатые теплообменники имеют недостаток заключающийся в наличии большого числа пластин и большой протяженности уплотнительных прокладок, что увеличивает трудоемкость работ, связанных с их обслуживанием, тем самым ограничивая область их применения.

Поэтому, одним из перспективных направлений совершенствования пластинчатых теплообменников, является разработка уплотнения, которое в сочетании с выбранным материалом прокладки будет обеспечивать надежную и долговечную герметизацию проточных каналов и выдерживать высокие давления рабочей среды.

Кроме того, конструкция устройства также должна обеспечивать удобство монтажа-демонтажа при его ремонте и обслуживании в процессе эксплуатации.

Для улучшения эксплуатационных характеристик пластинчатого теплообменника предлагается внести следующие изменения в его конструкцию:

- изменить плиты и пластины таким образом, чтобы они имели форму квадрата, а не вертикального прямоугольника, как у традиционных конструкций, и сечение внутренней полости, используемой для прохода теплоносителя, имело форму круга;

- гофры на пластине выполнить таким образом, чтобы они имели форму концентрических окружностей или спиралей;

- вход и выход каждого из теплоносителей должен производиться через отверстия, одно из которых расположено в геометрическом центре, а другое – в периферийной зоне, передней и задней плит.

Предлагаемые усовершенствования пластинчатого теплообменника позволяют улучшить

его массогабаритные характеристики, улучшить эксплуатационную надежность уплотнения и повысить коэффициенты теплопередачи [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 15518–87 Аппараты теплообменные пластинчатые. Типы, параметры и основные размеры. – М. : ИПК издательство стандартов, 1999. – 31 с.

2. Теплообменные аппараты : учеб. пособие / Б. Е. Байгалиев, А. В. Щелчков, А. Б. Яковлев, П. Ю. Гортышов. – Казань : Изд-во КГТУ, 2012. – 180 с.

3. Расчет и проектирование теплообменников : учеб. / А. Н. Остриков, А. В. Логинов, А. С. Попов, И. Н. Болгова. – Воронеж : ВГТА, 2011. – 427 с.

4. *Попов, И. А.* Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена : Интенсификация теплообмена : монография / И. А. Попов, Х. М. Махьянов, В. М. Гуреев ; под общ. ред. Ю. Ф. Гортышова. – Казань : Центр инновационных технологий, 2009. – 560 с.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-32-35

А. Р. Ингеманссон

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»

E-mail: aleing@yandex.ru

Выполнен анализ, свидетельствующий о повышении технико-экономической эффективности технологических процессов механической обработки за счет внедрения ЦПС.

Ключевые слова: технологическая себестоимость, технико-экономический анализ, коэффициент ОЕЕ.

A. R. Ingemansson

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF EFFICIENCY CHANGES OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MACHINING DUE TO IMPLEMENTATION OF DIGITAL PRODUCTION SYSTEMS

JSC «Federal Scientific and Production Centre «Titan-Barricady»

Analysis shows the increase of technical and economical efficiency of machining processes due to the implementation of digital production systems.

Keywords: technological cost price, technical and economical analysis, OEE coefficient.

Статья посвящена анализу изменения технико-экономической эффективности технологических процессов (ТП) механической обработки за счет разработанных автором мероприятий по внедрению ЦПС. Оценка выполнялась с использованием комплексных критериев – технологической себестоимости [1] и коэффициента общей эффективности оборудования *OEE* (сокр. от англ. Overall equipment effectiveness) [2].

Внедрение ЦПС, а также предложенных автором мероприятий по технологической подготовке производства (ТПП) и адаптивному управлению (АУ) [3 и др.] процессом резания, позволяет обеспечить снижение затрат на изготовление деталей по нескольким направлениям. Среди них: снижение трудовых затрат на доработку деталей из-за неудовлетворительного качества поверхностей путем обеспечения ста-

бильности получаемых шероховатости и деформированного состояния поверхностного слоя деталей; снижение затрат на режущий инструмент ввиду уменьшения его износа и поломок за счет использования АУ по нагрузке на инструмент. Необходимо провести анализ снижения затрат на производство путем уменьшения простоев оборудования с ЧПУ за счет предложенных мероприятий по обеспечению стабильной работоспособности режущих инструментов.

Согласно [1] при технико-экономическом анализе вариантов ТП следует сравнивать только те статьи затрат, которые меняются при переходе от одного варианта ТП к другому. С учетом этого при оценке снижения затрат путем уменьшения простоев оборудования с ЧПУ за счет обеспечения стабильной работоспособности режущих инструментов к расчету приня-

ты следующие составляющие технологической себестоимости: затраты на заработную плату рабочих; расходы на амортизацию и эксплуатацию оборудования; расходы, связанные с необходимостью погашения стоимости здания, в котором располагается производственный участок; расходы на амортизацию и эксплуатацию приспособлений, как имеющие место даже при простом оборудовании.

Следует привести результаты анализа для примера ТП изготовления детали 20.01 «Валшестерня». Предложен участок механообрабатывающего цеха, состоящий из четырех токарно-револьверных станков с ЧПУ мод. SL-40L и двух вертикальных сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ с ЧПУ мод. VF-5/50. Принято, что станочниками (операторами) выполняется многостаночное обслуживание. Каждый оператор обслуживает два ОЦ. Таким образом, на участке работает три оператора – двое станочников для токарно-револьверных станков с ЧПУ и один для вертикальных сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ с ЧПУ. Кроме этого, участок обслуживает двое наладчиков – один для станков с ЧПУ токарной группы, другой – для сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ.

Суммарные годовые затраты C по принятым составляющим технологической себестоимости для технико-экономической оценки эффективности [1] предложенных автором мероприятий по внедрению ЦПС [3 и др.] определяются зависимостью:

$$C = C_P + C_{M1} + C_{M2} + C_{M3} + C_{П}, \text{ руб.} \quad (1)$$

где C_P – годовые расходы на заработную плату рабочих (станочников (операторов станков с ЧПУ и ОЦ), наладчиков, вспомогательного и обслуживающего персонала); C_{M1} – годовые амортизационные расходы на оборудование, руб.; C_{M2} – годовые расходы на все виды ремонта и обслуживания оборудования, руб.; C_{M3} – годовые расходы, связанные с необходимостью погашения стоимости здания, в котором располагается производственный участок, руб.; $C_{П}$ – годовые расходы на амортизацию и эксплуатацию приспособлений, руб.

Рассчитанные суммарные годовые затраты C для рассмотренного производственного участка механообрабатывающего цеха представлены в табл. 1.

Таблица 1

Рассчитанные суммарные годовые затраты для рассмотренного производственного участка механообрабатывающего цеха

Станок с ЧПУ	$C_P, \text{руб.}$	$C_{M1}, \text{руб.}$	$C_{M2}, \text{руб.}$	$C_{M3}, \text{руб.}$	$C_{П}, \text{руб.}$	$C, \text{руб.}$
Токарно-револьверный (4 шт.)	4 578 240	4 100 400	4 284 000	82 368	450 080	13 495 088
Св.-фрез.-раст. ОЦ (2 шт.)	3 032 400	3 644 800	3 808 000	31 917,6	193 720	10 710 837,6
Общие затраты по участку	–					24 205 925,6

Затраты на внедрение разработанной ЦПС для механообрабатывающего производства связаны, в основном, с оснащением необходимой оргтехникой подразделений, участвующих в производственном процессе. Согласно разработанной структуре и механизму функционирования ЦПС для механической обработки [3 и др.] необходимо оснастить ПК рабочие места сотрудника склада, инженера-технолога, сотрудника ОТК, сотрудника участка по настройке инструмента вне станка, производственного мастера или начальника участка механического цеха. Рабочее место производственного мастера или начальника участка должно быть также оснащено принтером для распечат-

ки производственно-технологической карты и последующей выдачи ее наладчику и станочнику. Рабочие места сотрудника склада, сотрудника ОТК, сотрудника участка по настройке инструмента вне станка, производственного мастера или начальника участка должны быть оснащены сканерами штрих-кодов для осуществления возможности идентификации заготовок, деталей, инструментальных сборок и обращения к производственно-технологической базе данных. В табл. 2 приведены расчетные затраты на оснащение подразделений, участвующих в производственном процессе, с целью реализации мероприятий по внедрению ЦПС в механообрабатывающем производстве.

Таблица 2

Расчетные затраты на оснащение подразделений, участвующих в производственном процессе, с целью реализации мероприятий по внедрению ЦПС в механообрабатывающем производстве

Статья затрат	Стоимость единицы, руб.	Требуемое количество, шт.	Стоимость с учетом количества, руб.
ПК в составе: системный блок, монитор, клавиатура, компьютерный манипулятор (мышь), сетевой фильтр, источник бесперебойного питания	25 900	5	129 500
Лазерный принтер	5100	1	5100
Сканер штрих-кодов (ручной, проводное подключение)	5000	4	20 000
Общие затраты, руб.		–	154 600

Следует отметить, что внедрение разработанной ЦПС связано с выполнением сотрудниками подразделений, участвующих в производственном процессе, своих штатных обязанностей. С учетом оснащенности на сегодняшний день подразделений машиностроительных предприятий компьютерной оргтехникой затраты на внедрение ЦПС могут быть ниже расчетного значения. Кроме этого, затраты на внедрение разработанной ЦПС носят единовременный характер, в то время как экономия затрат по статьям технологической себестоимости, рассчитанная ниже, носит системный характер.

Согласно статистическим данным о годовом объеме простоев металлорежущего оборудования с ЧПУ [4], в т. ч. из-за замены режущего инструмента, и о причинах потери работоспособности инструментов [5], [6] выполнена оценка экономии затрат при внедрении предложенных автором мероприятий по ТПП и АУ процессом резания в ЦПС.

Доля времени, связанного с заменой инструментов, в годовом фонде рабочего времени оборудования с ЧПУ на производственном участке согласно статистических данных принята равной 14 %. При этом объем замены инструментов, связанный с преждевременной потерей работоспособности составляет 47 %. Таким образом, годовые простои оборудования с ЧПУ из-за нестабильной работоспособности режущих инструментов составляют: $14\% \times 0,47 = 6,6\%$.

Ранее приведен расчет составляющих C технологической себестоимости, имеющих место независимо как при работе, так и при простое оборудования. Таким образом, годовая экономия затрат \mathcal{E} за счет предложенных мероприятий по обеспечению стабильности задан-

ной работоспособности режущих инструментов и исключению соответствующего объема простоев оборудования для рассмотренного ТП изготовления детали 20.01 «Вал-шестерня» на принятом участке механообрабатывающего цеха составляет:

$$\mathcal{E} = C \times 0,066 = 24\,205\,925,6 \times 0,066 = 1\,597\,591,1, \text{ руб.} \quad (2)$$

На сегодняшний день использование коэффициента общей эффективности оборудования OEE активно внедряется в практике отечественных и зарубежных промышленных предприятий и аудиторских компаний для оценки эффективности производственной деятельности [2 и др.]. По своему содержанию коэффициент OEE представляет оценку коэффициента использования оборудования и внецикловых потерь. Коэффициент отражает три основных составляющих эффективности использования технологического оборудования: доступность A , производительность P и качество Q . Методика расчета составляющих коэффициента приведена в [2 и др.].

Коэффициент общей эффективности оборудования OEE определяется зависимостью:

$$OEE = A \times P \times Q \times 100 \%. \quad (3)$$

Согласно статистических данных о годовом объеме простоев металлорежущего оборудования с ЧПУ [4], [5], а также с учетом возврата деталей на доработку в связи с отклонением величины фактической шероховатости обработанной поверхности относительно заданной ТУ определены расчетные значения коэффициентов общей эффективности оборудования $OEE_{БАЗ}$ и $OEE_{ЦПС}$ для базового и модернизированного технологических процессов, соответственно, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Расчетные значения коэффициентов общей эффективности оборудования
OEE_{БАЗ} и OEE_{ЦПС} и их составляющих**

Технологический процесс	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	OEE, %
Базовый	0,85	0,85	0,93	67
Модернизированный, с учетом мероприятий по внедрению ЦПС	0,9	0,85	0,965	74

Таким образом, выполнен анализ, свидетельствующий о повышении технико-экономической эффективности технологических процессов механической обработки за счет внедрения ЦПС путем экономии затрат в части технологической себестоимости изготовления деталей, а также установлено увеличение значения коэффициента общей эффективности оборудования OEE.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Безъязычный, В. Ф.* Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 568 с.
2. OEE: сила общей эффективности оборудования [Электронный ресурс] : Альманах Управление производ-

ством. – 2010. – Режим доступа : http://www.up-pro.ru/library/production_management/operations_management/OEE.html (дата обращения: 06.04.2020).

3. *Ингеманссон, А. Р.* Разработка механизма функционирования цифровых производственных систем для механической обработки / А. Р. Ингеманссон // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 27–29.

4. *Хартли, Дж.* ГПС в действии : пер. с англ. / Дж. Хартли. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

5. *Старков, В. К.* Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 1989. – 296 с.

6. *Григорьев, С. Н.* Обработка резанием в автоматизированном производстве : учеб. / С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 2008. – 372 с.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-35-39

А. В. Назарьев¹, П. Ю. Бочкарев²

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ
КОМПЛЕКСА ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР СИСТЕМЫ УЧЕТА ТРЕБОВАНИЙ
К СБОРКЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

¹ **Филиал научно-производственного центра автоматизации и приборостроения
имени академика Н. А. Пилюгина – Производственное объединение «Корпус»**

² **Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова**

E-mail: alex121989@mail.ru

В статье формируется структура комплекса проектных процедур системы учета требований к сборке при проектировании технологических процессов механической обработки, а также рассматривается математическое и методическое обеспечение реализации укрупненных блоков проектных процедур данной системы. Применение данного комплексного подхода в рамках действующего многономенклатурного производства позволяет сокращать время сборки высокоточных изделий и количество некомплектных деталей (незавершенное производство).

Ключевые слова: высокоточное изделие; математическое обеспечение, методическое обеспечение, комплекс проектных процедур.

A. V. Nazaryev¹, P. Yu. Bochkarev²

**MATHEMATICAL AND METHODOLOGICAL IMPLEMENTATION
OF THE COMPLEX OF DESIGN PROCEDURES OF THE SYSTEM
OF ACCOUNTING REQUIREMENTS FOR ASSEMBLY IN DESIGN
OF MANUFACTURING METHODS OF MECHANICAL PROCESSING**

¹ Branch of Academician Pilyugin Scientific-Production Center
of Automatics and Instrument-Making- Industrial Association «Korpus»

² Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov

The structure of the complex of design procedures of the complex of design procedures of the system of accounting requirements for assembly in design of manufacturing methods of mechanical processing is formed in the article, and the mathematical and methodological implementation for the realization of the integrated blocks of design procedures of this system is considered. The employment of this integrated approach within the framework of the existing multi-nomenclature production allows to reduce the assembly time of high-precision products and the number of incomplete parts (work-in-process).

Keywords: high-precision product; mathematical implementation; methodological implementation; complex of design procedures.

Задача исследования

Разработка комплекса формализованных проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ) [1], позволяющая в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать в системе автоматизированного планирования технологических процессов (САПЛТП) [2] рациональные технологии обработки деталей, учитывающие точностные требования сборки и обеспечивающие качественное и эффективное выполнение сборочных операций.

Понятие «высокоточные изделия» следует применять с учетом конкретной производственной ситуации, когда при сборке для значительной части сборочных единиц изделий не обеспечивается допуск замыкающего звена. Необходимо изготавливать дополнительные

сборочные комплекты, увеличивается объем незавершенного производства.

Подобный комплексный подход к технологической подготовке производства (ТПП) должен базироваться на реализации следующих принципов: проектирование рациональных технологических процессы (ТП) механообработки деталей, обеспечивающих заданные качество и точность, а также минимальную себестоимость их реализации (технологическую себестоимость); учет ограничений, накладываемых требованиями к сборке изделий, при проектировании ТП механической обработки; учет оперативной производственной ситуации.

Методика

Структура СТСТПМ, представленная в общем виде на рис. 1, включает в себя три укрупненных блока проектных процедур [1; 3]



Рис. 1. Структура СТСТПМ

Для реализации первой процедуры «Анализ высокоточного изделия и требований к его сборке» представлена классификация структурных элементов и разработана методика разбиения высокоточного изделия на структурные элементы для дальнейшего проведения конструкторского размерного анализа (КРА) [3].

Для проведения КРА была выбрана [4; 5] и доработана математическая модель, для реализации которой применяется аппарат теории графов.

Конструкторский размерный анализ заключается в построении графов размерного анализа сборочных единиц (графов сопряжений) $G_C = (B_C, C_C)$ и графов размерного анализа деталей, входящих в данные сборочные единицы (графов размеров) $G_P^i = (B_P, C_P)$ ($i=1 \dots n_1$ обозначает номер детали в сборке). В результате получаем объединение графов (графы размеров являются элементами графа сопряжений):

$$G_P^1, G_P^2 \dots G_P^n \in G_C = G_{CP} \quad (1)$$

Для корректного составления необходимых графов сопряжений-размеров и формирования на их основе систем уравнений предлагается присвоить индексы всем деталям, входящим в сборочные единицы, и всем размерам данных деталей, т. к. размеры одной и той же детали могут быть задействованы при расчете нескольких требований сборки высокоточного изделия.

На основе полученного объединенного графа построены уточненные [3] системы уравнений, в которых учитывается предложенная индексация:

Плоскость 1

$$\begin{cases} B_1 - \sum_{i=1}^{j_1} A_{1i}^{j_1 j_2} & A_{1i}^{j_1 j_2} - \sum_{i=1}^{j_1} A_{1i}^{j_1 j_2} \\ B_2 - \sum_{i=1}^{j_2} A_{2i}^{j_2 j_2} & A_{2i}^{j_2 j_2} - \sum_{i=1}^{j_2} A_{2i}^{j_2 j_2} \\ \dots & \dots \\ B_x - \sum_{i=1}^{j_x} A_{xi}^{j_x j_x} & A_{xi}^{j_x j_x} - \sum_{i=1}^{j_x} A_{xi}^{j_x j_x} \end{cases}$$

где B_1, B_2, \dots, B_x – требования к сборке, выяв-

ленные в ходе проведения КРА сборочной единицы; $A_{1i}^{j_1 j_2}, A_{2i}^{j_2 j_2}, \dots, A_{xi}^{j_x j_x}$ – составляющие звенья конструкторской размерной цепи (индекс i обозначает порядковый номер составляющего звена, индекс j_2 – номер размера данной детали ($j_2=1 \dots n_2$), участвующего в расчете требования, соответственно, $A_i^{j_2}$ – составляющие звенья конструкторских размерных цепей деталей.

Для расчета номинального размера и допуска замыкающего звена используются известные формулы [4].

Таким образом, в результате реализации блока процедур получены комплекты деталей, размеры которых участвуют в расчете каждого из требований сборки. Далее в САПлТП необходимо получить все возможные варианты ТП изготовления данных деталей для проведения второго укрупненного блока процедур «Анализ возможных технологических процессов обработки деталей, входящих в высокоточное изделие».

Технологический размерный анализ заключается в построении графов возможных вариантов ТП изготовления деталей $G_T^{j_3 j_3} = (B_T, C_T)$ (где j_3 – номер варианта ТП для детали ($j_3=1 \dots n_3$)). Реализация данной процедуры подробно изложена в [1; 3].

На заключительном этапе составляются варианты обобщенных графов, включающие в себя графы КРА сборочных единиц и деталей, а также варианты графов технологического размерного анализа каждой детали, задействованной в сборке. Графы технологического размерного анализа вариантов ТП являются элементами объединенного графа сопряжений и размеров:

$$G_T^{j_3^1}, G_T^{j_3^2} \dots G_T^{j_3^n} \in G_{CP} \quad (3)$$

Для реализации этого этапа предложена методика объединения графов размеров-сопряжений и графов размерного анализа вариантов ТП механической обработки деталей в обобщенные графы. Пример составления обобщенных графов приведен на рис. 2.

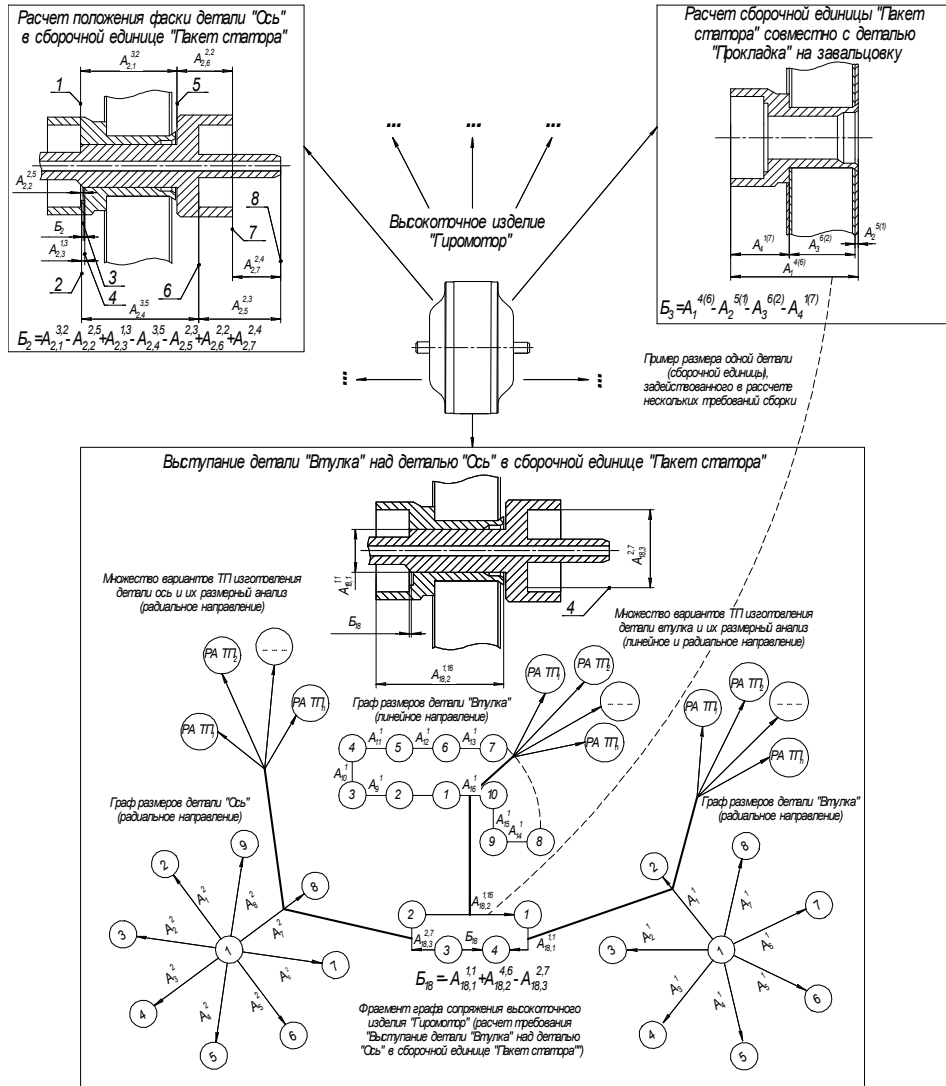


Рис. 2. Фрагмент обобщенного графа для высокоточного изделия «Гиросмотор»

В результате реализации процедуры сгенерированы уточненные [3] варианты систем уравнений обобщенных графов, учитывающие предложенную нами индексацию.

Сформированные варианты уравнений КРА высокоточных изделий (сборочных единиц) для полученных плоскостей КРА

$$\begin{cases}
 \text{Плоскость 1} \\
 B_1 = \sum_{i=1}^{p_1} A_{1,i}^{j_1, j_2} \\
 B_2 = \sum_{i=1}^{p_2} A_{2,i}^{j_1, j_2} \\
 \dots \\
 B_X = \sum_{i=1}^{p_X} A_{X,i}^{j_1, j_2}
 \end{cases}$$

Сформированные варианты систем уравнений КРА для полученных комплектов деталей

$$\begin{cases}
 \text{Плоскость 1} \\
 A_{1,i}^{j_1, j_2} = \sum_{i=1}^{l_1} A_i^{j_2} \\
 A_{2,i}^{j_1, j_2} = \sum_{i=1}^{l_2} A_i^{j_2} \\
 \dots \\
 A_{X,i}^{j_1, j_2} = \sum_{i=1}^{l_X} A_i^{j_2}
 \end{cases}$$

Сформированные варианты систем уравнений технологического размерного анализа для множеств ТП, полученных в САПР ТП

$$\begin{cases}
 \text{Плоскость 1} \\
 \left\{ \begin{aligned}
 A_{j_3}^{i_1 j_2} &= \sum_{i=1}^{n_6} S_{i, j_3}^{i_1 j_2} \\
 Z_{j_3}^{i_1 j_4} &= \sum_{i=1}^{n_7} S_{i, j_3}^{i_1 j_2}
 \end{aligned} \right.
 \end{cases}$$

(4)

На их основе предлагается выбирать множество ТП изготовления деталей, удовлетворяющих требованиям сборки. Критерий выбора – получение максимально возможного числа сборочных комплектов (СК) $W_{СК} = \max\{d_i\}$. d_i – число сборочных комплектов для j_3 -го варианта ТП. Для выбора используется известный математический аппарат [6].

Далее, из ТП, удовлетворяющих требованиям сборки, должен определяться вариант рационального ТП, учитывающий, помимо прочего, складывающуюся производственную ситуацию.

Выбор варианта рационального ТП предлагается осуществлять по следующим критериям: количество операций ТП изготовления деталей ($W_{оп}$); общее количество технологических переходов для каждого из ТП изготовления деталей ($W_{пер}$); однородность технологического оборудования ($W_{отд}$).

Выбор рационального ТП производится на основе известного метода многокритериальной оптимизации по критерию Парето с применением генетического алгоритма для определения весовых коэффициентов важности каждого из критериев [7].

Для каждого из критериев рациональности определяется значение весовых коэффициентов. При этом предлагается следующее условие выбора:

$$\xi_{оп} > \xi_{пер} > \xi_{отд} \quad (5)$$

В результате реализации математической модели получаем искомые значения весовых коэффициентов для каждого из критериев выбора рациональных ТП изготовления деталей, что позволяет сформировать парето-оптимальное множество и получить рациональные варианты ТП.

Обсуждение результатов и выводы

Таким образом, были сформированы математические модели и методическое обеспечение для реализации укрупненных блоков проектных процедур. На их основе было разработано алгоритмическое и программное обеспечение для проверки работоспособности полученной системы. Результаты эксперимента, проведенного в условиях действующей многономенклатурной производственной системы, показали, полученные рациональные варианты ТП изготовления деталей обеспечивают сокращение времени последующей сборки высокоточных изделий на 26 % за счет снижения ко-

личества итераций сборки. Количество некомплектных деталей (незавершенное производство) в среднем снизилось на 5,5 %.

Перспективы дальнейшего развития результатов исследования: детализация и развитие созданных математических моделей и подходов на всех этапах реализации СТСТПМ для дальнейшей интеллектуализации и цифровизации ТПП; проведение более глубокой интеграции СТСТПМ в структуру САПЛТП, а именно: учет ограничений, накладываемых требованиями к сборке, позволит обеспечить связь технологической подготовки производства с конструкторской, т.к. подобные требования закладываются на этапе конструкторской подготовки производства; выполнение третьего укрупненного блока проектных процедур позволит перейти к оценке производственной технологичности деталей [8] в условиях многономенклатурного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назарьев, А. В. Формирование структуры комплекса проектных процедур для автоматизации технологической подготовки производства высокоточных изделий / А. В. Назарьев, П. Ю. Бочкарев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (204) / ВолгГТУ. – 2017. – С. 128–132.
2. Бочкарев, П. Ю. Проектирование технологических операций механообработки в системе планирования технологических процессов / П. Ю. Бочкарев, В. В. Шалунов, Л. Г. Бокова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 3. – № 1. – С. 46–54.
3. Назарьев, А. В. Формирование структуры комплекса проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки / А. В. Назарьев, П. Ю. Бочкарев // Вестник ПГТУ. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2018. – № 4 (8). – С. 62–73.
4. Лелюхин, В. Е. Анализ и расчет размерных цепей на основе графов размерных связей / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова // Вестник ИШ ДВФУ. – 2015. – № 4 (25). – С. 29–34.
5. Гречников, Ф. В. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности / Ф. В. Гречников, С. Ф. Глушенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева. – 2011. – № 3–4. – С. 38–43.
6. Филипович, О. В. Управление параметрами селективной сборки двух деталей / О. В. Филипович, Г. В. Невар, М. И. Гарматюк, Д. В. Заморонова // Известия ТулГУ, Технические науки – 2015. – № 10. – С. 144–150.
7. Догадина, Е. П. Многокритериальное управление процессами мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры / Е. П. Догадина, А. Н. Коноплев // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2011. – № 1. – С. 121–123.
8. Бочкарев, П. Ю. Оценка производственной технологичности деталей в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем / П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 1 (40). – С. 250–254.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-40-43

В. А. Носенко, Н. Д. Сердюков, О. М. Шкода, П. И. Самарский
**ИСПЫТАНИЕ СОЖ НА ОПЕРАЦИИ ПЛОСКОГО ВРЕЗНОГО
ШЛИФОВАНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА**

**Волжский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**

E-mail: vladim.nosenko2014@yandex.ru

При шлифовании титанового сплава ВТ9 проведены испытания следующих разновидностей СОЖ: водный раствор натрия фосфорнокислого трехзамещенного, полусинтетическая с противозадирными присадками, синтетическая универсальная и эталонная. Определены высотные и шаговые параметры шероховатости обработанной поверхности, коэффициент шлифования. Рассчитаны коэффициенты корреляции между данными параметрами. Показаны отличия в морфологии шлифованной поверхности.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие жидкости, титановый сплав, шлифование, карбид кремния, параметры шероховатости, коэффициент шлифования, морфология.

V. A. Nosenko, N. D. Serdyukov, O. M. Shkoda, P. I. Smarsky

COOLANT TEST AT THE PROCESS OF FLAT INFEEED GRINDING OF TITANIUM ALLOY

**Volzhsky Polytechnic Institute (branch)
FSBEI of HE «Volgograd State Technical University»**

When grinding the VT9 titanium alloy, the following types of coolant were tested: an aqueous solution of sodium phosphate trisubstituted o, semi-synthetic with extreme pressure additives, synthetic universal and standard. The height and step parameters of the roughness of the treated surface, the grinding coefficient are determined. The correlation coefficients between these parameters are calculated. The differences in the morphology of the polished surface are shown.

Keywords: cutting fluids, titanium alloy, grinding, nitrogen carbide, roughness parameters, grinding coefficient, morphology.

Введение

Титановые сплавы используются в различных отраслях машиностроения: авиации, энергетике, ракетостроении, двигателестроении и др. Основная причина плохой обрабатываемости сплавов на основе титана заключается в их высокой адгезионной активности к абразивному материалу и склонности к образованию шлифовочных прижогов [1–4]. В процессе шлифования титан налипает на вершины абразивных зерен, что увеличивает силу и температуру резания, вероятность образования шлифовочных прижогов. При последующем контакте, налипший металл переносится на обрабатываемую поверхность, формируя неоднородный рельеф [5; 6].

Одним из наиболее эффективных способов снижения адгезионного взаимодействия абразивного инструмента с металлом является введение в зону резания специальных сред. Активные среды можно вводить в зону резания различными способами: в составе абразивного инструмента (добавление в абразивную смесь

при изготовлении в качестве наполнителей, импрегнирование) [7; 8], в составе смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), в том числе, с использованием различной технологии подачи СОЖ [8; 9].

Наибольшее распространение в практике шлифования получили водные СОЖ. На операциях шлифования титановых сплавов лучшие эксплуатационные показатели процесса обеспечивает водная СОЖ с присадкой K_3PO_4 или Na_3PO_4 . Но широкого распространения данная СОЖ не получила. В настоящее время производителями представлен широкий спектр СОЖ, рекомендованных для шлифования, в том числе, титановых сплавов. Особое место занимают препараты с содержанием противозадирных и антифрикционных присадок [9].

Цель работы – проведение сравнительных испытаний водной СОЖ на основе натрия фосфорнокислого трехзамещенного, полусинтетической и синтетической СОЖ при шлифовании титанового сплава.

Методика

Испытания проводили на прецизионном профилишлифовальном станке с ЧПУ Chevalier Smart B 1224III на чистовом режиме шлифования со скоростью 30 м/с, подачей на глубину 0,005 мм/ход, продольной подачей 12 м/мин. Методика испытаний изложена в работе [11]. Обрабатываемый материал – титановый сплав BT9, припуск – 0,5 мм. В качестве абразивного инструмента использовали высокопористый, высокоструктурный шлифовальный круг из зеленого карбида кремния характеристики 64CF100G12V производства ОАО Волжский Абразивный завод.

Смазочно-охлаждающие жидкости: водный раствор Na_3PO_4 (СОЖ 1), полусинтетический препарат с противозадирными присадками Лукойл ФРЕО MS 3050 EP (СОЖ 2), синтетический препарат ВОЛТЕС-151 (СОЖ 3), в качестве базовой СОЖ использовали водный раствор кальцинированной соды (СОЖ 4). Концентрации СОЖ выбирали на основании рекомендаций производителя и определяли оптическим рефрактометром Kavi-Brix HBR20.

Контролируемые параметры: шероховатость обработанной поверхности (среднее арифметическое отклонение Ra , максимальная высота Rp , глубина Rv , средний шаг Rsm неровностей профиля) и коэффициент шлифования Kg . Шероховатость обработанной поверхности измеряли профилометром Mitutoyo SJ-410 по стандарту ISO 4287-1997, радиальный

износ круга определяли индикатором часового типа МИГ-1.

Результаты и обсуждение

Результаты представлены в виде отношения значений контролируемых параметров, полученных при шлифовании с охлаждением исследуемых СОЖ, к соответствующим значениям параметров базовой СОЖ.

Закономерность изменения высотных параметров шероховатости обработанной поверхности после шлифования с СОЖ 1-4 одинаковы. Высотные параметры шероховатости обработанной поверхности возрастают от СОЖ 1 к СОЖ 4: Ra возрастает в 2,7 раза (рис. 1, а), Rp и Rv – в 2,3 раза (рис. 1, б, в). Коэффициент парной корреляции между данными параметрами приближается к единице (0,97–0,99).

Из шаговых параметров рассмотрен средний шаг неровностей профиля Rsm . Близкие относительные значения параметров шероховатости обработанной поверхности получены при шлифовании с охлаждением СОЖ СОЖ 1, СОЖ 2 и СОЖ 3: $Rsm(отн)$ изменяется в диапазоне от 0,67 до 0,77 (рис. 2, а). Различия $Rsm(отн)$ незначимы при охлаждении СОЖ 1 и СОЖ 3. На границе значимости находятся параметры шероховатости при шлифовании с охлаждением СОЖ 2 и СОЖ 3. Таким образом, средний шаг неровностей профиля с охлаждением СОЖ 1, СОЖ 2 и СОЖ 3 на 23-33 процента меньше по сравнению с базовой СОЖ.

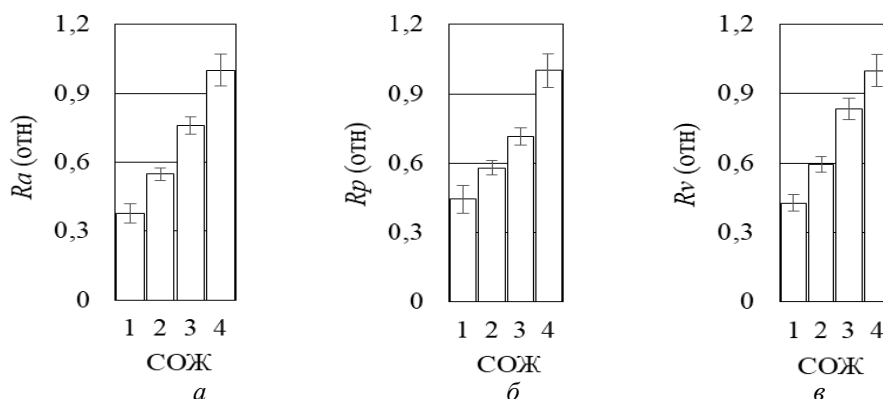


Рис. 1. Относительные значения высотных параметров шероховатости обработанной поверхности: а – $Ra(отн)$; б – $Rp(отн)$; в – $Rv(отн)$

Если впадины неровностей профиля рассматривать, как царапины, оставленные наиболее выступающими вершинами зерен, расположенными на рабочей поверхности шлифовального круга, таких зерен при шлифовании с охлаждением исследуемыми СОЖ в среднем на 30 % больше, чем

с базовой СОЖ 4. О различном характере изменения шагового параметра шероховатости обработанной поверхности, по сравнению с высотными, свидетельствуют и коэффициенты парной корреляции с параметрами Ra , Rp , Rv , изменяющиеся в интервале от 0,66 до 0,70.

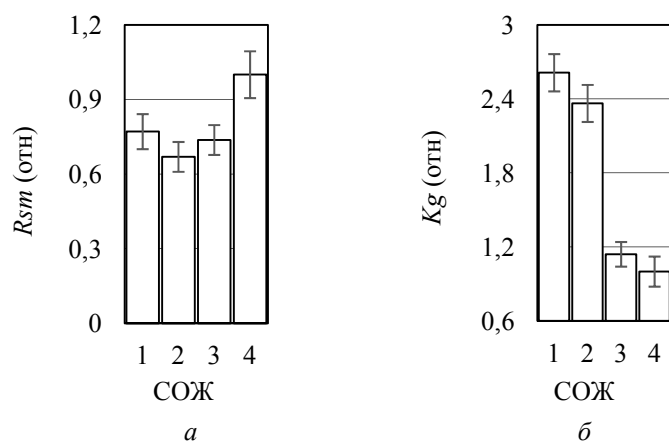
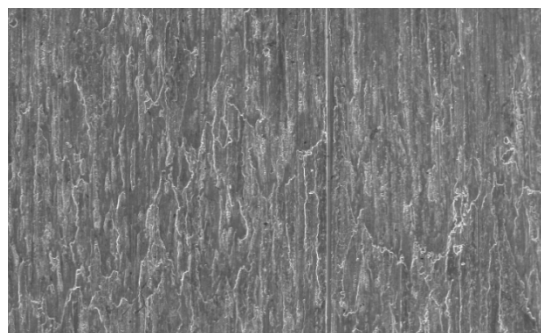


Рис. 2. Относительные значения шагового параметра шероховатости обработанной поверхности R_{sm} (отно) (а) и коэффициента шлифования K_{gf} (отно) (б)

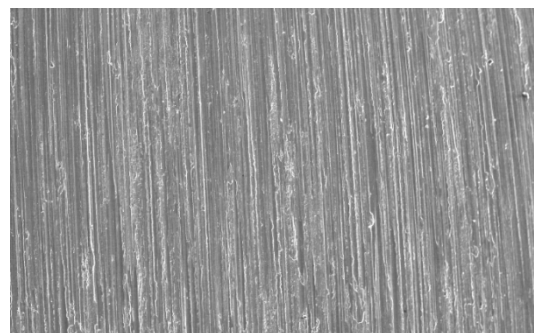
Коэффициент шлифования в рассмотренном ряду СОЖ возрастает по сравнению с базовой в следующей пропорции $K_g(\text{СОЖ } 4) : K_g(\text{СОЖ } 3) : K_g(\text{СОЖ } 2) : K_g(\text{СОЖ } 1) = 1,0 : 1,1 : 2,4 : 2,6$ (рис. 2, б). Приблизительно в таком же, но обратном соотношении изменяются высотные параметры шероховатости обработанной поверхности, например, $R_a(\text{СОЖ } 1) : R_a(\text{СОЖ } 2) : R_a(\text{СОЖ } 3) : R_a(\text{СОЖ } 4) = 1,0 : 1,5 : 2,0 : 2,7$. Коэффициенты парной корреляции между высотными параметрами шероховатости обработанной поверхности (R_a , R_p , R_v) и ко-

эффициентом шлифования около 0,9.

Структура обработанной поверхности после шлифования с охлаждением СОЖ 3 является типичной для процесса шлифования титановых сплавов [5] (рис. 3, а). При охлаждении препаратом СОЖ 2 (рис. 3, б) участков с налипшим металлом меньше, на поверхности видны царапины, оставленные вершинами зерен шлифовального круга, что свидетельствует об уменьшении интенсивности адгезионного взаимодействия абразивного материала с обрабатываемым титановым сплавом.



а



б

Рис. 3. Морфология обработанной поверхности

Выводы

Наилучшие результаты по параметрам шероховатости обработанной поверхности и коэффициенту шлифования получены с использованием водного раствора с присадкой натрия фосфорнокислого трехзамещенного.

Из серийно выпускаемых СОЖ меньшее значение высотных и шаговых параметров шероховатости обработанной поверхности при шлифовании титанового сплава обеспечивает концентрат Лукойл ФРЕО MS 3050 EP.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носенко, В. А. Повышение эффективности шлифования сплавов на основе титана / В. А. Носенко // Инновации в машиностроении (ИнМаш-2019) : сб. тр. X Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2019. – С. 788–796.
2. Носенко, В. А. Интенсивность контактного взаимодействия и перенос материалов при шлифовании и микроцарапании тугоплавких металлов / В. А. Носенко, А. В. Фетисов, С. В. Носенко, В. О. Харламов // Научно-технологические исследования в машиностроении. – № 10. – 2017. – С. 9–18.
3. Реченко, Д. С. Обработка титановых и жаропрочных сплавов высокоскоростным шлифованием / Д. С. Реченко // Омский научный вестник. – 2008. – № 4. – С. 59–61.

4. *Полетаев, В. А.* Качество поверхностного слоя лопаток компрессоров из титана при многокоординатном глубинном шлифовании / В. А. Полетаев, Е. В. Цветков // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 12. – С. 15–19.

5. *Носенко, В. А.* Морфология и химический состав поверхности титанового сплава после шлифования кругом из карбида кремния / В. А. Носенко, А. В. Фетисов, Н. Д. Сердюков // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – № 12 (102). – С. 22–28.

6. *Носенко, С. В.* Влияние правки абразивного инструмента на состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава при встречном глубинном шлифовании / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Л. Л. Кременецкий // Вестник машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 64–68.

7. *Носенко, В. А.* Совершенствование абразивного инструмента на бакелитовой связке / В. А. Носенко // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2004. – № 3. – С. 85–90.

8. *Nosenko V. A., Krutikova A. A.* Improving abrasive tool cutting properties with the use of impregnators that emit chemically active gas media during thermal decomposition. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 19, part 5. [Publisher : Elsevier], 2019. – P. 2041-2045.

9. Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Сулова. – Москва : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.

10. *Митрофанов, А. П.* Исследование технологии микродозированной подачи смазочных композиций с наночастицами при шлифовании жаропрочного никелевого сплава с дополнительным воздушным охлаждением / А. П. Митрофанов, В. А. Носенко // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 4. – С. 6–18.

11. *Носенко, В. А.* Испытательный комплекс на базе прецизионного профилишлифовального станка с ЧПУ мод. Smart-B1224 III / В. А. Носенко и др. // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 5 (184) / ВУолгГТУ. – Волгоград, 2016. – С. 35–39.

УДК 658.516

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-43-45

М. Ю. Полянчикова¹, В. А. Дзедик², А. В. Качалова¹, А. В. Андреев¹
**СТАНДАРТИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:
 ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

¹Волгоградский государственный технический университет

²Ассоциация по сертификации «Русский Регистр»

E-mail: MUPolyan4ikova@yandex.ru

Отечественным автопроизводителям не просто пройти сертификацию на соответствие требованиям международного стандарта IATF 16949:2016. В этом стандарте достаточно жесткие требования к организациям, да и процесс сертификации является дорогостоящим. Перспективой решения этого вопроса является внедрение требований национального стандарта в автомобильной отрасли, который адаптирован для отечественных производителей, ГОСТ Р 58139–2018. В представленной статье рассмотрены преимущества и перспективы указанного национального стандарта.

Ключевые слова: сертификация, автомобильная промышленность, национальный стандарт.

M. Yu. Polyanchikova¹, V. A. Dzедик², A. V. Kachalova¹, A. V. Andreev¹
**STANDARDIZATION OF THE AUTOMOBILE INDUSTRY:
 ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS**

¹Volgograd State Technical University

²Certification Association "Russian Register"

It is not easy for domestic car manufacturers to get certified for compliance with the requirements of the international standard IATF 16949: 2016. This standard has fairly stringent requirements for organizations, and the certification process is expensive. The prospect of solving this issue is the implementation of the requirements of the national standard in the automotive industry, which is adapted for domestic manufacturers, GOST R 58139-2018. The presented article discusses the advantages and prospects of this national standard.

Keywords: certification, automotive industry, national standard.

Международный и отечественный рынки автомобилестроения диктуют свои правила работы путем внедрения международных директив и стандартов как при производстве продукции, так и при построении систем менеджмента. Соблюдая установленные правила в области

безопасности производства и продукции, можно реализовать продукцию на внешнем рынке и составить конкуренцию уже существующим на этом рынке компаниям и поставщикам.

В марте 2019 года Росстандартом утверждена «Комплексная программа разработки

стандартов на изделия автомобильной промышленности на перспективу до 2025 года» [1]. Эта программа включает мероприятия по разработке стандартов на:

- 1) полнокомплектные транспортные средства и их компоненты (мероприятия 1–79);
- 2) интеллектуальные транспортные системы и транспортные средства с высокой степенью автоматизации управления (мероприятия 80–174);
- 3) автомобильные транспортные средства на топливных элементах (мероприятия 175–184);
- 4) раритетные и спортивные автомобили (мероприятия 185–189);
- 5) современные крепежные системы (мероприятия 190–221).

Подробнее с мероприятиями программы можно ознакомиться на сайте Росстандарта [1]. Из всех мероприятий программы 135 направлены на разработку или пересмотр национальных стандартов на продукцию (услуги), и 86 – на разработку стандартов на методы контроля и измерений. По результатам выполнения мероприятий программы уже реализовано 36 пунктов (в качестве предварительных национальных стандартов), что немаловажно. В настоящее время активно ведется работа по всем указанным направлениям. Тексты предварительных национальных стандартов публикуются в информационно-справочных базах данных.

Помимо работ в области стандартизации, в 2018–2019 годах государство ужесточило правила технического регулирования и безопасности в области автоиндустрии. Так ужесто-

чились требования технического регламента таможенного союза ТР ТС 018/ 2011 «О безопасности колесных транспортных средств» [2], а также в ряд иных документов.

Немаловажным остается и создание систем обеспечения выпуска продукции, соответствующей требованиям заинтересованных сторон – систем менеджмента. В решении этого вопроса большая роль отведена современному национальному стандарту ГОСТ Р 58139–2018 «Системы менеджмента качества. Требования к организациям автомобильной промышленности», разработанному некоммерческим партнерством «Объединение автопроизводителей России» совместно с Ассоциацией по сертификации «Русский Регистр» [3]. Применение требований этого стандарта позволяет организациям малого и среднего бизнеса выстраивать систему управления, обеспечивающую выпуск безопасной качественной продукции, не уступающей в конкурентной борьбе той продукции, что выпускается промышленными автомобильными гигантами. Рассмотрим основные преимущества этого документа.

Указанный стандарт [3] был разработан в связи с необходимостью создания единого документа, регламентирующего применение требований ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 [4] к производственной деятельности организаций автомобильной промышленности Российской Федерации, включая специфические требования потребителей. В представленной статье, в таблице, рассмотрены основные дополнения требований ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 и их описание.

Анализ специфических требований ГОСТ Р 58139 – 2018 для организаций автомобильной промышленности

Пункт стандарта	Пояснение содержания требований
Раздел 4. Среда организации 4.3. Определение области применения системы менеджмента качества	Помимо требований к области применения СМК организации включает требования к разработке и хранению руководства по качеству
Раздел 5. Лидерство 5.1. Лидерство и приверженность 5.1.1. Общие положения	Содержит подпункт 5.1.1.1. «Участие в аудитах», в котором прописано требование к руководству организации об участии его во внутренних аудитах, аудитах со стороны потребителя и со стороны сертифицирующего органа
5.1.2. Ориентация на потребителя	Содержит подпункт, в котором имеется допущение о несоблюдении требований данного стандарта во исполнение указаний потребителя
5.2. Политика 5.2.1. Разработка политики в области качества	Имеет дополнение в виде требований к политике организации, именно о соблюдении требований со стороны потребителя
5.2.2. Доведение политики в области качества	Организация должна сохранять документированную информацию по результатам доведения до работников политики в области качества
5.3. Функции, ответственность и полномочия в организации	Организация должна иметь документальное подтверждение распределению обязанности внутри организации и что конкретно должна включать в себя данная информация

Окончание таблицы

Пункт стандарта	Пояснение содержания требований
5.3.2. Внутренний представитель потребителя	Содержит требование о назначении среди сотрудников организации внутреннего представителя потребителя, его полномочия и действия
Раздел 6. Планирование 6.1. Действия в отношении рисков	Содержит информацию о том, что должно подвергаться актуализации и в какие сроки, а также требование сохранения информации об актуализации
6.2. Цели в области качества и планирование их достижения	Дополнительно содержит требования к целям в области качества в отношении требований потребителя
Раздел 7. Средства обеспечения 7.1. Ресурсы 7.1.2. Человеческие ресурсы	Содержит требование о сохранности документированной информации о количестве и составе сотрудников организации
7.1.3. Инфраструктура	Организация должна поддерживать документированную информацию о требованиях к средствам производства продукции и оказания услуг в рабочем состоянии, требования к идентификации оборудования и инструментов, а также требования к техническому обслуживанию оборудования и инструментов
7.1.4. Среда функционирования процессов	Дополнен подпунктом о управлении средой функционирования процессов, чистоте и порядке на рабочих местах и в рабочих помещениях, а также об охране труда и окружающей среды
7.1.5. Ресурсы для мониторинга и измерения 7.1.5.2. Прослеживаемость измерения	Организация должна содержать документированную информацию по управлению измерительным оборудованием, к анализу измерительных систем, к испытательным подразделениям (внутренним лабораториям) и независимым лабораториям
7.2. Компетентность	Организация обязательно должна согласовывать график обучения персонала с потребителем
7.3. Осведомленность	Содержит перечень минимальных требований к знаниям персонала
Раздел 9. Оценка результатов деятельности 9.1. Мониторинг, измерение, анализ и оценка 9.1.1. Общине положения	Содержит требования к статистическому исследованию процессов
9.1.2. Удовлетворенность потребителей	Дополнен требованиями к анализу данных об оценке деятельности организации со стороны потребителей, соответствующим корректирующим действиям и сохранении этих результатов в виде документированной информации
9.2. Внутренний аудит	Содержит требования, предъявляемые к внутреннему аудиту
Раздел 10. Улучшение 10.2. Несоответствия и корректирующие действия	Дополнен перечнем невыполненных требований и жалоб со стороны потребителя, которые подлежат инициации

Как показывает анализ, рассматриваемый стандарт [3] является отличной альтернативой IATF 16949:2016, который российские автопроизводители не могут использовать по многим причинам, указанным специалистами в материалах [5–7] тем более ГОСТ Р ИСО 58139 признается национальными автопроизводителями, такими как Группа ГАЗ и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексная программа разработки стандартов на изделия автомобильной промышленности на перспективу до 2025 года [Электронный ресурс] // Росстандарт: офиц. сайт. – 2019. – Режим доступа: <https://www.gost.ru> (дата обрац. 14. 01. 2020)
2. ТР ТС 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств. (ред. от 21.06.2019 г.) – Введ. 09. 12 2011.
3. ГОСТ Р 58139–2018. Системы менеджмента качества. Требования к организациям автомобильной промышленности. – Введ. 06.11.18. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 37 с. – (Национальный стандарт).
4. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 28. 09. 15. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 23 с. – (Национальный стандарт).
5. Дзедик, В. А. Перспективы стандарта СТ ОАР 3.16950-2017 / В. А. Дзедик, И. А. Коровкин // Стандарты и качество. Проблемы и решения. – 2017. – № 12. – С. 31–33.
6. Дзедик, В. А. Разработка российского автомобильного транспорта, описывающего требования к системам менеджмента качества / В. А. Дзедик // Вестник Волгоградского института бизнеса. Бизнес. Образование. Право. – 2017. – № 2 (39). – С. 55–59.
7. Дзедик, В. А. Создание и аудит системы менеджмента качества в соответствии с международным стандартом ISO 9001:2015 / В. А. Дзедик, А. Езрахович. – Волгоград : ПринТерра-Дизайн, 2015. – 300 с.

УДК 65.011.56

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-46-50

*Е. П. Решетникова¹, П. Ю. Бочкарев²***РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**¹ АО «НПП «Алмаз»² Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова

E-mail: purpose22@mail.ru

Работа направлена на решение важной задачи производства – сокращение сроков его технологической подготовки. С этой целью разработан комплекс контрольно-измерительных процедур, обеспечивающий инновационный способ планирования производства и организации производственного процесса изделий механических производств. В данной работе представлена практическая реализация комплекса контрольно-измерительных процедур в виде разработанного программного обеспечения, создающего конкурентоспособность предприятия в условиях быстроменяющейся производственной ситуации с выполнением большого объема заказов на изготовление изделий разного конструкторско-технологического характера.

Ключевые слова: контрольно-измерительные процедуры, точность изготовления, средства измерения, технологический контроль.

*E. P. Reshetnikova¹, P. Yu. Bochkaev²***DEVELOPING MODELS FOR PLANNING'S CHARACTERIZATION
OF THE MEASURING – AND-CONTROL'S PROCEDURES FOR
TECHNICAL PROCESS OF MACHINERY PRODUCTION**¹ АО «NPP «Almaz»² Saratov State Vavilov Agrarian University

The article says about solving an important task of production - reducing of the technological preparation. The development of scientific bases of the complex of control-and-measurement procedures in the automated system for designing technological processes for manufacturing parts is a qualitative solution to the problem of achieving the specified accuracy of the surfaces of parts in a rapidly changing situation within the production process. This paper presents the practical implementation of the complex of control-and-measurement procedures for automating technological preparation of production.

Keywords: complex surface's detail, accuracy of manufacture, measuring equipment, test procedure, monitoring and measuring.

Использование современных возможностей информационных технологий способствуют перспективному способу планирования производства, например, при помощи комплекса контрольно-измерительных процедур (ККИП). Суть ККИП состоит в разработке рациональных единичных технологических процессов (ТП) на основе информации о реальных размерных параметрах каждой заготовки детали и на применении рационального комплекта контрольно-измерительных средств (СИ) для обеспечения заданной точности изготовления деталей в рамках системы автоматизированного планирования многономенклатурных ТП (САПлТП) [1].

Задачи работы:

– разработка методики измерения размерных параметров поверхностей заготовок и их взаимосвязей, как структурного элемента ТП.

– формализация проектных процедур для формирования рационального комплекта контрольно-измерительных средств в рамках САПлТП.

– разработка алгоритмического и программного обеспечения ККИП.

Основное содержание работы.

Научные основы комплекса контрольно-измерительных процедур подробно представлены в работах [1–3].

В данной работе внимание сконцентрировано на разработке алгоритмического и программного обеспечения ККИП.

Для реализации методики координатного измерения ККИП разработано алгоритмическое обеспечение для назначения рационального количества координатных точек на поверхностях анализируемых заготовок и назначения рационального способа их расположения.

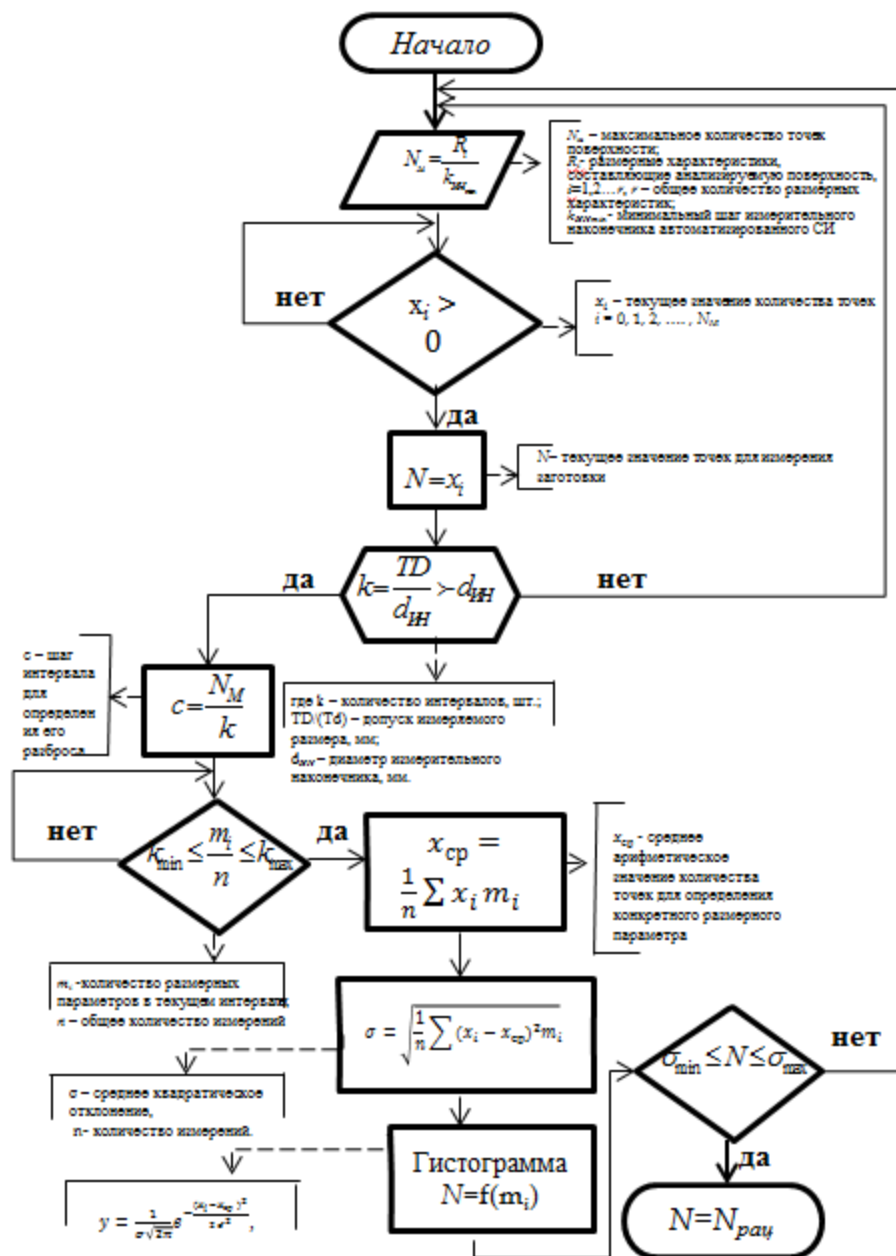


Рис. 1. Алгоритм расчета рационального количества точек при координатном измерении координатно-измерительной машиной

Разработанный способ расчета рационального количества координатных точек состоит из следующей последовательности (рис. 1):

- определение максимально возможного количества точек на измеряемой поверхности заготовки;
- снятие величины размерного параметра анализируемой поверхности количеством точек из интервала $(0; N_M)$, где N_M – максимальное количество точек измеряемой поверхности;
- выявление одинаковых значений размерных параметров;
- определение количества интервалов k рас-

пределения количества координатных точек для анализа измеренных значений параметров:

$$k = \frac{TD}{d_{ин}}, \tag{1}$$

где k – количество интервалов, шт; $TD (Td)$ – допуск измеряемого размера, мм; $d_{ин}$ – шаг измерительного наконечника, мм.

– определение величины интервала (c):

$$c = \frac{N_M}{k}, \tag{2}$$

где c – шаг интервала для определения его разброса; N_M – максимальное количество точек из-

меряемой поверхности, шт; k – количество интервалов, шт.

– расчет для каждого интервала значения средней величины количества точек в данном интервале, частоты m_i (количество размерных параметров в текущем интервале $x_i \in (x_{min_i}; x_{min_i} + c)$) и частоты (m_i/n) попадания в принятый интервал $x_i \in (x_{min_i}; x_{min_i} + c)$, где n – общее количество измерений;

– построение зависимости полученных значений частоты от количества точек. Результирующая величина количества координатных точек подчиняется закону нормального распределения:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где x_i – текущее значение количества точек,

x_{cp} – среднее арифметическое значение количества точек в текущем интервале, σ – среднее квадратическое отклонение, n – общее количество измерений.

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum x_i m_i, \quad (4)$$

где m_i – частота (количество размерных параметров в интервале x_i).

– определение интервала величин, в который попадает рациональная величина количества точек для измеряемого параметра поверхности:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - x_{cp})^2 m_i}, \quad (5)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение. Для сокращения времени контрольно – измерительной процедуры принимается значение минимальной границы среднее квадратического отклонения σ .

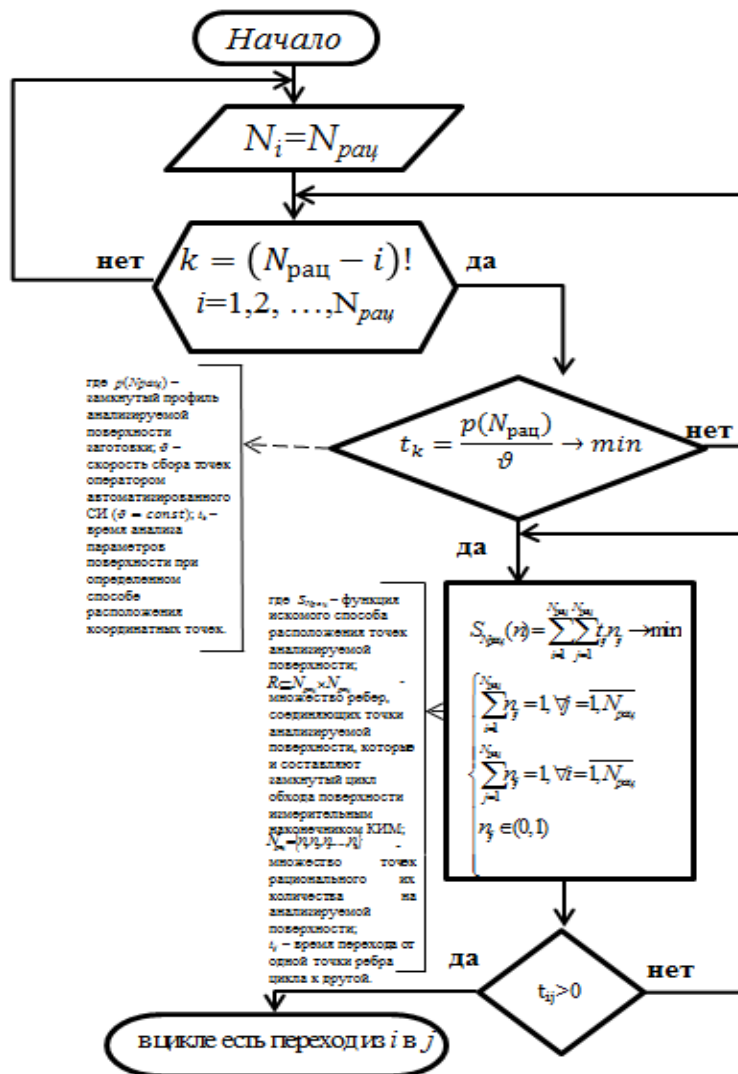


Рис. 2. Алгоритм определения способа расположения рационального количества точек

Алгоритм расположения координатных точек при измерении разработан при помощи комбинаторного анализа [4] (рис. 2). Его основные этапы:

- определение величины рационального количества точек;
- поиск числа способов расположения k рационального количества координатных точек $N_{рац}$ для измерения:

$$k = (N_{рац} - 1)! \quad (6)$$

- выбор рационального способа расположения–затрачивающего наименьшее время на измерительную процедуру, но обеспечивающего максимальное покрытие координатными точками анализируемой поверхности:

$$t_k = \frac{p(N_M)}{v} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $p(N_M)$ – замкнутый профиль анализируемой поверхности заготовки; v – скорость сбора точек оператором автоматизированного СИ ($v = const$); t_k – время анализа параметров поверхности при определенном способе расположения координатных точек.

- расположение рационального способа на поверхности заготовки, при условии, что измерительный наконечник координатно-измерительной машины (КИМ) проходит через каж-

дую ее вершину только один раз и время перехода от одной точки к другой минимально, скорость перехода постоянна:

$$S_{N_{рац}} [n] = \sum_{i=1}^{N_{рац}} \sum_{j=1}^{N_{рац}} t_{ij} n_{ij} \rightarrow \min, \quad (8)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N_{рац}} n_{ij} = 1, \forall j = \overline{1, N_{рац}}, \\ \sum_{j=1}^{N_{рац}} n_{ij} = 1, \forall i = \overline{1, N_{рац}}, \\ n_{ij} \in (0, 1), \end{cases}$$

$$n_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ в цикле есть переход из } i \text{ в } j, \\ 0, \text{ перехода нет из } i \text{ в } j \end{cases}$$

где $S_{N_{рац}}$ – функция искомого способа расположения точек анализируемой поверхности; $R \subseteq N_{рац} \times N_{рац}$ – множество ребер, соединяющих точки анализируемой поверхности, которые и составляют замкнутый цикл обхода поверхности измерительным наконечником КИМ; $N_{рац} = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_k\}$ – множество точек рационального их количества на анализируемой поверхности; t_{ij} – время перехода от одной точки ребра цикла к другой.

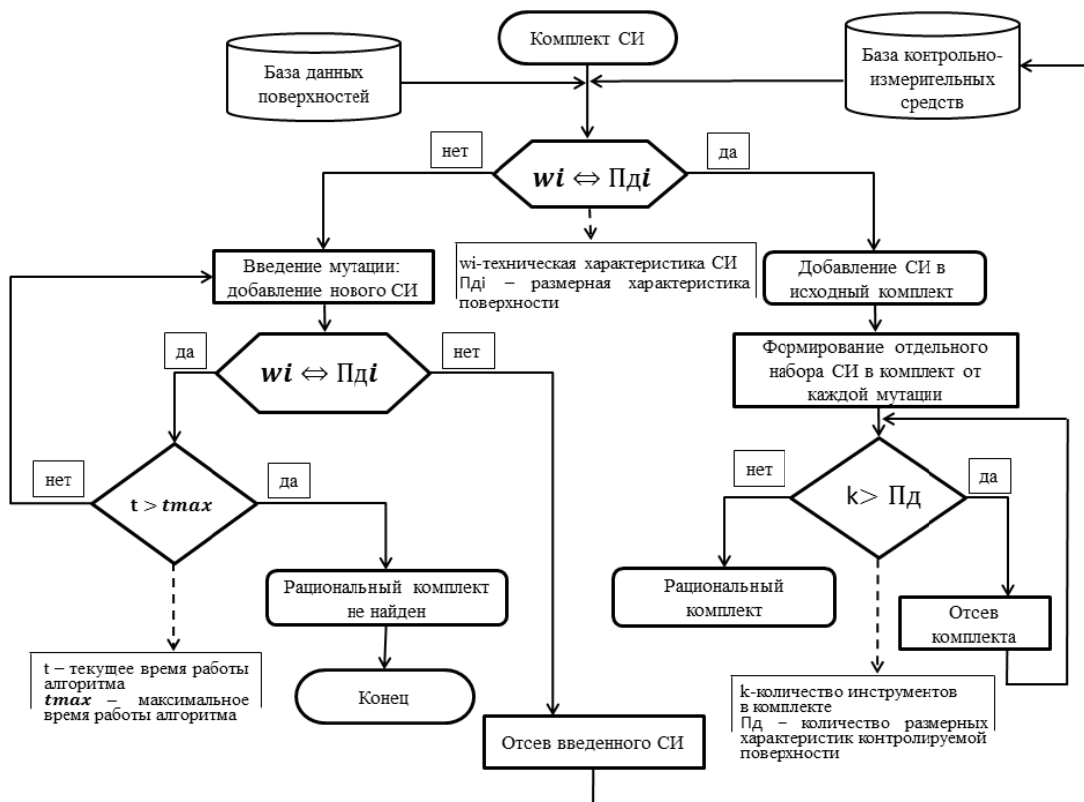


Рис. 3. Алгоритм назначения рационального комплекта контрольно-измерительных средств

Формирование рационального комплекта контрольно-измерительных средств [2] в условиях действующей производственной системы направлено на сокращение временных затрат при реализации разработанных с помощью ККИП рациональных ТП изготовления изделий в САП/ТП. Для текущих производственных условий представляет собой:

- генерацию возможных вариантов СИ;
- отсеивание нерациональных вариантов СИ;
- назначение рационального комплекта СИ.

Процедура формирования рационального комплекта СИ осуществлена с применением генетического алгоритма [4] (рис. 3). А именно рациональный комплект СИ составлен таким образом, что суммарное время контрольно-измерительной процедуры минимально. Математические модели определения рационального комплекта контрольно-измерительных средств в текущих условиях производственной системы приведены в работе авторов [2].

Вывод

Разработка алгоритмического и программного обеспечения комплекса контрольно-измерительных процедур [5–6] подтверждает его работоспособность и дает возможность его практического применения в существующих традиционных системах планирования производства, что способствует их модернизации.

УДК 621.438-46: 621.921

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-50-53

В. А. Санинский², Е. А. Федянов¹, Е. Н. Нестеренко²

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ КАНАЛАМИ ДОРНУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОШИВОК

¹ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

² Волжский политехнический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

E-mail: saninv@rambler.ru

В статье рассмотрены возможные варианты подвода смазочно-охлаждающей жидкости к режущо-деформирующим зубьям многозубой прошивки для обработки глубоких отверстий. Указаны преимущества и недостатки каждой из схем. Отмечено, что при продавливании смазывающей-охлаждающей жидкости (СОЖ) через прямые или винтовые щелевые канавки, выполненные на наружной поверхности дорнующих зубьев, на обрабатываемой поверхности создаются «демпфирующие подушки», улучшающие процесс дорнования и снижающие износ прошивок для обработки глубоких отверстий. Для каждой из схем изложена методика расчета расхода СОЖ в зависимости от параметров щелевых канавок для перетекания СОЖ и давления ее подачи. Возможность расчета расхода СОЖ через режущо-деформирующие зубья многозубых прошивок позволяет правильно назначать режимы обработки и тем самым повышать технико-экономическую эффективность механической обработки длинномерных трубных заготовок.

Ключевые слова: дорнование, глубокие отверстия, снижение износа инструмента, расход смазочно-охлаждающей жидкости, методика расчета расхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Решетникова, Е. П.* Автоматизация технологической подготовки производства деталей со сложнопрофильными поверхностями / Е. П. Решетникова, П. Ю. Бочкарев // Системы проектирования технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM-2018 : сб. тр. XVIII Международ. Молодеж. Конф. – Москва, 2018. – С. 237–239.
2. *Reshetnikova, E. P.* Generation the efficient measuring instruments kit in the computer – aided preproduction planning's system for multiproduct machine manufactory / E. Reshetnikova, P. Bochkarev, A. Nazaryev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 709, Issue 3.
3. *Reshetnikova, E. P.* Perspective Algorithms for the Hexapod Control Used to Measure Complex Surfaces / E. P. Reshetnikova, O. V. Zakharov, V. A. Kushnikov, A. V. Kochetkov // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS-2015). –DOI 10.1109 / MEACS.2015. 741870.
4. *Гладков, Л. А.* Генетические алгоритмы : учеб. пособие / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик ; под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Физматлит, 2006. –320с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017660400. Выбор мерительного инструмента для контроля размерных характеристик наружных конических поверхностей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов / Решетникова Е. П., Бочкарев П. Ю., Бокова Л. Г. ; опубли. 21.09.2017.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018614651. Назначение оптимального комплекта контрольно-измерительного инструмента в механообрабатывающей системе с учетом складывающейся производственной ситуации / Решетникова Е. П., Бочкарев П. Ю., Бокова Л. Г. ; опубли. 26.02.2018.

V. A. Saninsky², E. A. Fedyanov¹, E. N. Nesterenko²

CALCULATION OF PARAMETERS OF CHANNEL THROTTLING OF EXPENSIVE ELEMENTS OF FIRMWARE

¹Volgograd State Technical University

²Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University

The article considers possible options for supplying coolant to the cutting and deforming teeth of multi-pronged firmware for processing deep holes. The advantages and disadvantages of each scheme are indicated. It is noted that when the lubricant-cooling liquid (coolant) is pushed through straight or screw slotted grooves made on the outer surface of the mandrel teeth, "damping pads" are created on the surface to be processed, which improve the mandrel process and reduce wear of the stitches for processing deep holes. For each of the schemes, a method for calculating the coolant flow rate is described, depending on the parameters of the slotted grooves for the coolant flow and the pressure of its supply. The ability to calculate the consumption of coolant through the cutting and deforming teeth of multi-toothed stitches allows you to correctly assign processing modes and, thereby, increase the technical and economic efficiency of mechanical processing of long pipe blanks.

Keywords: burnishing, deep hole, reducing wear, consumption of cutting fluid, methods of calculating consumption.

При обработке глубоких отверстий (ГО) методом деформирующего прошивания значительное влияние на показатели точности и шероховатости оказывают геометрические параметры дорнующих элементов прошивки [1–2]. Количество дорнующих элементов и связанное с ним число рабочих ходов прошивки ограничивается явлением шелушения обработанной поверхности, а допустимое число рабочих ходов ходов прошивки с заданными значениями натяга i_d на каждый зуб зависит, в том числе, от условий смазки и охлаждения зубьев в процессе дорнования [1–2]. При таких ограничениях улучшение условий смазки и охлаждения позволяет снизить износ инструмента и способствует повышению точности и качества обработки ГО. Особенно важной является задача повышения стойкости инструмента при обработке глубоких отверстий совмещенным режуще-деформирующим прошиванием [1].

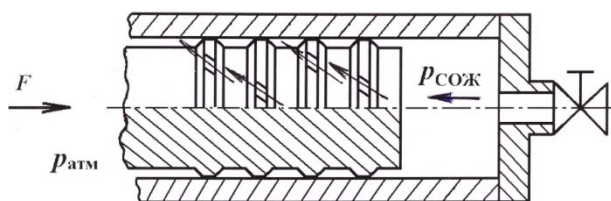


Рис. 1. Схема подачи СОЖ к дорнующим зубьям со стороны обрабатываемого отверстия

Кроме того, недостатками схемы с последовательным подводом СОЖ к зубьям являются необходимость заполнения ею всей полости ГО и ограничение скорости дорнования предельно допустимым давлением в жидкости, которое соответствует максимально возможный расход СОЖ при заданной геометрии щелевых канавок на зубьях дорна.

Известно несколько способов подвода смазочно-охлаждающей жидкости к дорнующему инструменту. Так, смазочно-охлаждающая жидкость может заполнять отверстие, поверхность которого подвергается дорнованию (рис. 1), и продавливаться последовательно через дорнующие зубья инструмента [1]. При этом для перетекания жидкости на калибрующих ленточках зубьев предусмотрены щелевые канавки. Щелевые канавки желательно располагать под углом к оси дорна или по винтовой линии с тем, чтобы обеспечить равномерные дорнование и поверхностную пластическую деформацию всей обработанной каждым зубом поверхности и исключить появление необработанных участков на поверхности ГО.

В случае подвода СОЖ со стороны ГО ее расход Q через щелевые канавки каждого из дорнующих зубьев будет одинаковым:

$$Q = \left(\frac{\delta^3 b}{12\mu L} \Delta p_d - \frac{V_d \cdot \delta \cdot b}{2} \right) \cdot N, \quad (1)$$

где δ – высота щели, b – ширина щели, V_d – скорость движения дорна относительно стенки трубы, L – длина потока в щели, μ – динамическая вязкость СОЖ, N – число щелей в дорнующем зубе, Δp_d – перепад давлений при продавливании СОЖ через щели зуба. Первое слагаемое в формуле (1) выражает расход вследствие напорного течения под действием перепада давлений Δp_d , а второе – вследствие фрикционного течения, обусловленного движением одной из стенок щелевого канала относительно другой. Знак "–" в формуле расхода отражает то, что жидкость в каналах зубьев и сам дорн относительно поверхности трубы движутся в разные стороны.

Если принять, что число щелей и их размеры на каждом из зубьев одинаковы, то перепад давлений на каждом зубе будет один и тот же:

$$\Delta p_d = \frac{P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}}{N_d}, \quad (2)$$

где N_d – число дорнующих зубьев; $P_{\text{СОЖ}}$ – давление смазочно-охлаждающей жидкости, обусловленное действием толкателя на дорнующую прошивку и, соответственно, прошивки на жидкость, находящуюся в ГО.

Когда дорн входит в обрабатываемое отверстие и в работе только первый зуб, то перепад давлений на нем будет равен $P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}$ и расход через щели этого зуба будет больше:

$$Q_1 = \left(\frac{\delta_1^3 b}{12\mu L} (P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}) - \frac{V_d \cdot \delta \cdot b}{2} \right) \cdot N_1. \quad (3)$$

Когда в работе два зуба, общий перепад давлений распределится между ними.

Изменяя параметры щелевых канавок на дорнующих зубьях, можно управлять величиной расхода СОЖ и распределением перепадов давления между зубьями. Эти же факторы будут влиять на возможную скорость дорнования, так как значение $P_{\text{СОЖ}}$ не может превысить некоторую предельную величину, определяемую максимальным усилием толкателя и допустимой деформацией обрабатываемой детали и деталей технологической установки под действием указанного давления.

При последовательном продавливании СОЖ через канавки каждого из зубьев давление СОЖ от первого зуба к последующим понижается, что приводит к ухудшению условий смазки.

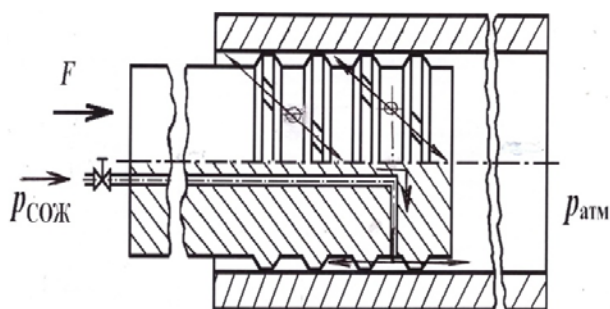


Рис. 2. Схема подвода СОЖ между первым и последующими зубьями

Другой способ подвода СОЖ к дорнующему инструменту иллюстрирует рис. 2. СОЖ подводится в пространство между первым и последующими зубьями и продавливается через щелевые канавки первого зуба в направлении

движения дорна и через щелевые канавки последующих зубьев в направлении, противоположенном движению дорна. При такой схеме подвода СОЖ можно, изменяя геометрию щелевых канавок первого и последующих зубьев, обеспечить различный расход жидкости через передний зуб, с одной стороны, и через последующие зубья, с другой.

Расход СОЖ через щелевые канавки первого зуба в полость ГО будет

$$Q_1 = \left(\frac{\delta_1^3 b_1}{12\mu L_1} (P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}) + \frac{V_d \cdot \delta_1 \cdot b_1}{2} \right) \cdot N_1. \quad (4)$$

В приведенной формуле все величины с индексом "1" характеризуют геометрию щелевых канавок первого зуба и их количество на этом зубе. Так как при рассматриваемом способе подвода охлаждающей жидкости направление ее течения через канавки первого зуба и направление движения дорна совпадают, в формуле указан знак сложения. Для последующих за первым зубьев расход жидкости определяется по формуле, аналогичной формуле (1), но вместо с индекса «1» применяются индексы «2», «3» и т. д.

Преимуществом варианта с подводом СОЖ в пространство между первым и вторым зубом дорна является то, что давление $P_{\text{СОЖ}}$, под которым подводится жидкость, не связано с усилием на толкателе и со скоростью перемещения дорна. Это давление не лимитирует скорость перемещения дорна, и его можно регулировать пропорциональными регуляторами, тем самым меняя желательным образом расход СОЖ.

Третьим, наиболее сложным по конструкции инструмента, но вместе с тем наиболее гибким по возможностям управления расходами СОЖ через отдельные зубья многозубых дорнов, вариантом подвода СОЖ является ее параллельный подвод к деформирующе-режущим зубьям (рис. 3). СОЖ подводится в камеры между зубьями по каналам 1, выполненным в теле прошивки 2. При этом подвод осуществляется не во все последовательные камеры, а через одну. В четных, по порядку следования, камерах располагаются отверстия в сливные каналы 3.

При такой схеме подвода становится возможным поддерживать одинаковое для всех зубьев давление, под которым продавливается СОЖ через выполненные на них щелевые канавки. При необходимости давление, под которым подводится СОЖ в каждую из камер, можно регулировать с помощью дроссельных устройств 4, установленных на подводящих магистралях 5.

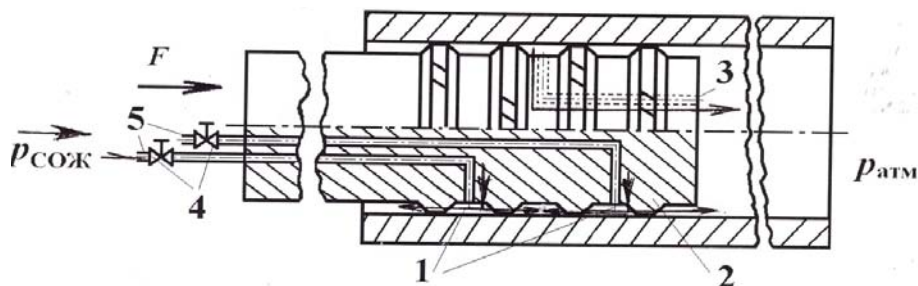


Рис. 3. Схема подачи СОЖ в нечетные камеры между дорнующим зубьями

Расход Q_k смазочно-охлаждающей жидкости через каждую из камер, в которую выходят подводные каналы 1, складывается из расходов через передний (по ходу движения дорна) и задний зубья:

$$Q_k = Q_n + Q_3. \quad (5)$$

В свою очередь расходы Q_n и Q_3 связаны с давлением p_k подвода СОЖ в камеру следующим образом:

$$Q_n = \left(\frac{\delta_n^3 b_n}{12\mu L_n} (p_k - p_c) + \frac{V_d \cdot \delta_n \cdot b_n}{2} \right) \cdot N_n, \quad (6)$$

$$Q_3 = \left(\frac{\delta_3^3 b_3}{12\mu L_3} (p_k - p_c) - \frac{V_d \cdot \delta_3 \cdot b_3}{2} \right) \cdot N_3, \quad (7)$$

где p_c – давление в камере между зубьями, через которую осуществляется слив СОЖ. Если гидравлические сопротивления сливных каналов малы, то можно принять $p_c = p_{атм}$.

Приведенные выше формулы позволяют, задавшись геометрией щелевых каналов на дорнующих зубьях, определить расход СОЖ при заданных значениях давления ее подачи или решить обратную задачу – определить требуемые давления подачи СОЖ для достижения желательного ее расхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санинский, В. А. Обоснование расширения возможностей режуще-деформирующего прошивания глубоких отверстий при ремонте машин сельскохозяйственного назначения / В. А. Санинский, А. В. Грибенченко, Е. Н. Смирнова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 284–293.
2. Бакаев, А. А. Расширения технологических возможностей процесса прошивания за счет регуляризации рабочих поверхностей инструмента / А. А. Бакаев, В. М. Скоромнов // Технология машиностроения. – 2013. – № 12. – С. 13–15.

УДК 621.793

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-53-55

Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик

**ИОННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Проведены испытания с целью определения возможности шлифования и полирования различных материалов с помощью ионной обработки. Полученные результаты можно использовать для разработки методических и технологических основ ионного шлифования и его применения в прецизионном машиностроении.

Ключевые слова: ионная обработка, прецизионное оборудование, шероховатость, микротвердость.

Yu. P. Serdobintsev, M. P. Kukhtik

ION-BEAM PROCESSING OF METAL MATERIALS FOR PRECISION EQUIPMENT

Volgograd State Technical University

The tests have been carried out with the aim of determination of grinding and polishing of various materials with the help of ion-beam processing. The obtained results can be used of development of methodical and technological basics of ion-beam grinding and its application in precision engineering.

Keywords: ion-beam processing, precision equipment, roughness, microhardness.

Одним из высокоэффективных способов улучшения качества прецизионного оборудования является использование ионной обработки поверхностей [1; 2].

Возможность использования ионной обработки в качестве финишной операции для деталей из конструкционных материалов исследовали в вакуумной камере, откачиваемой паромасляным агрегатом ВН-20 с использованием азотных ловушек [3].

Испытания проводились с целью определения возможности шлифования и полирования различных материалов с помощью ионной об-

работки. Испытаниям подвергались следующие образцы материалов: сталь 40Х, сталь У8, сталь ШХ15 и латунь Л62 размерами 1,25 мкм, 0,63 мкм и 0,25 мкм.

Источником ионов служил модуль М-70. Модуль устанавливался на расстоянии 500 мм от технологических образцов. Поток ионов ксенона падал на образцы под углом 15° с $U = 200\text{--}240$ В. Некоторые результаты испытаний представлены в таблице, где столбцы I, II, III означают шероховатость Ra после ионной обработки в течение 30, 90 и 180 мин соответственно.

Изменение шероховатости при обработке образцов ионами ксенона

Материал образца	Шероховатость Ra , мкм			
	до испытаний	I	II	III
Сталь У8	1,07	0,74	0,66	0,59
То же	1,43	1,65	1,16	1,18
Сталь ШХ15	0,85	0,80	0,80	0,74
Латунь Л62	1,35	0,91	0,89	0,81

На рис. 1 приведена топография поверхности образца из стали 40Х, обработанного пучком ионов ксенона (экспозиция 180 мин), полученная на сканирующем электронном микроскопе BS-301 при увеличении $\times 750$. На фотографии наблюдается определенная направленность следов обработки в виде столбчатой слоистости, совпадающая с направлением потока ионов. Профилограммы, снятые с поверхностей образцов вдоль и поперек следов обработки, характеризуются приближенным равенством $Ra_{\text{поп}} = Ra_{\text{пр}}$ (рис. 2), то есть после ионной обработки практически отсутствуют следы механической обработки.

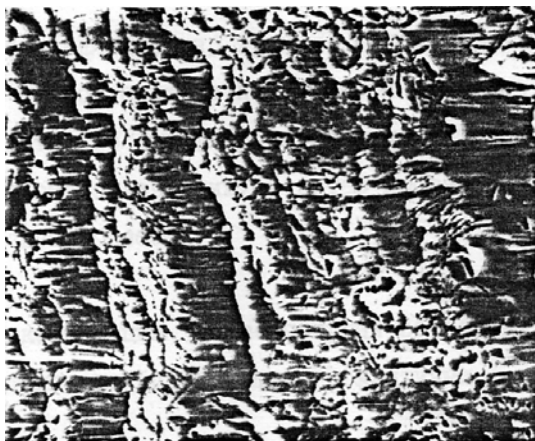


Рис. 1. Топография поверхности образца из стали 40Х, обработанного пучком ионов ксенона $\times 750$

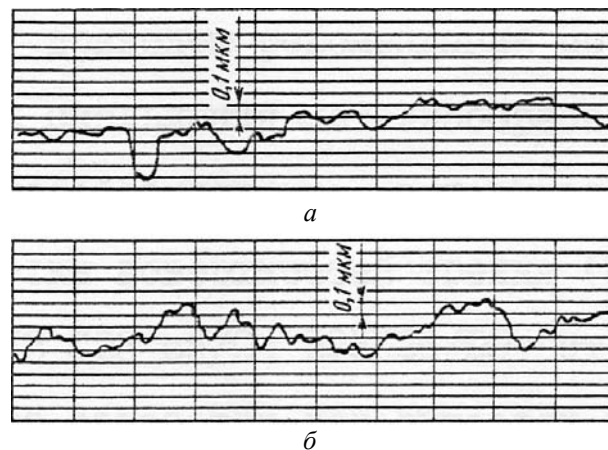


Рис. 2. Профилограммы участка поверхности образца из стали 40Х, подвергнутого воздействию потока ионов ксенона вдоль (а) и поперек (б) следов обработки В.У. $\times 5000$, $Ra = 0,35\text{--}0,40$ мкм Г.У. $\times 100$

В результате проведенных исследований установлено (рис. 3), что при ионной обработке шероховатость поверхности детали снижается, в основном, в первые 30 мин, и ее снижение сопровождается незначительным уменьшением микротвердости обработанной поверхности (например, для стали У8 исходная микротвердость $H_{50} = 291\text{--}306$ МПа, а после ионной обработки $H_{50} = 280\text{--}295$ МПа).

С целью разработки методических и технологических основ ионного шлифования и его применения в прецизионном машиностроении

необходимо: повысить плотность потока ионов, увеличить энергию потока, проверить возможность ионного шлифования при углах падения ионов 30°, 45°, 60°; снизить время обработки, чтобы уменьшить производственные затраты за счет сокращения операций тонкого шлифования или другой финишной механической обработки.

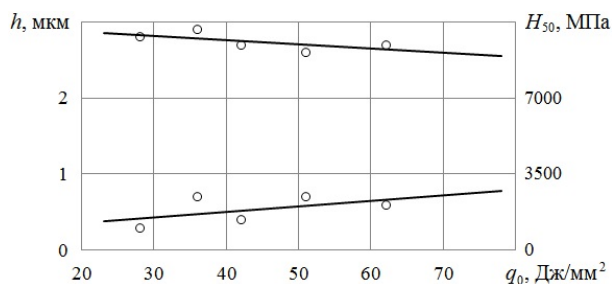


Рис. 3. Зависимость глубины h и средней микротвердости отработанной зоны H_{50} от удельной погонной энергии до Дж/мм²

В результате проведенных испытаний можно сделать следующие выводы и предложения:

1. Все образцы подвергаются ионному шлифованию, при этом класс чистоты поверхности образцов возрастает.

2. Необходимо отработать методику определения количества съема материала при шли-

фовании и скорректировать методику определения Ra .

3. Режим работы источника ионного потока был выбран неоптимальным для шлифования материалов. При последующих испытаниях необходимо:

– повысить плотность потока ионов на образцы (увеличением ионного потока и приближением образцов к источнику ионов);

– увеличить энергию потока ионов (в пределах возможности данного источника ионов);

– проверить возможности ионного шлифования поверхностей при углах падения ионов на образцы 45° и 60°;

– снизить время обработки до 10...20 мин между измерениями Ra и скорости уноса материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерия поверхностей конструкционных материалов с использованием плазменных и пучковых технологий / А. В. Белый [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 457 с.

2. Иващенко, С. А. Влияние ионной обработки на изменение исходной шероховатости поверхности образцов из сплава Д16Т / С. А. Иващенко, С. Г. Койда // Наука и техника. – 2010. – № 5. – С. 14–17.

3. Сердобинцев, Ю. П. Технологические методы обеспечения требуемых свойств поверхностного слоя технологического оборудования : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08 : защищена 1991 г. / Сердобинцев Ю. П. – М., 1991. – 411 с.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-55-58

Е. М. Фролов¹, А. А. Каменев², О. О. Трухляев¹

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

¹Волгоградский государственный технический университет

²ООО НПП «Сялит»

E-mail: e_frolov@vstu.ru

В статье приводятся результаты анализа современных подходов к исследованию и совершенствованию методов механической обработки полимерных материалов. Показано, что научные работы по механической обработке композиционных материалов на основе полимеров на данный момент обладают актуальностью в связи с недостатком данных о свойствах материалов, характеризующих их обрабатываемость.

Ключевые слова: композиционные материалы, механическая обработка, резание пластмасс.

E. M. Frolov¹, A. A. Kamenev², O. O. Trukhlyayev¹

ANALYSIS OF APPROACHES TO THE RESEARCH OF MECHANICAL PROCESSING OF POLYMER MATERIALS

¹Volgograd state technical university

²L.L.C. RPE "Sialit"

The article presents the results of analysis of modern approaches to research and improvement of methods of mechanical processing of polymer materials. The article illustrates the fact that scientific works on the mechanical processing of composite materials based on polymers are currently relevant due to the lack of data on the properties of materials that characterize their workability.

Keywords: composite materials, mechanical processing, plastic cutting.

В условиях большого количества различных видов полимерных композиционных материалов возникает задача определения оптимальных параметров обработки для каждого вида. Эта проблема освещена в работах [4], [6], [13], [12]. Попытки переноса данных, полученных при обработке металлов и дерева, приводят к различного рода проблемам при обработке пластика, например к механическим повреждениям (сколам, вырывам, прижогам), перегреву в зоне резания, приводящему к потере режущих способностей инструмента, освещенным в статьях [8], [17], [3], [1], [7]. Создание новых технологий механической обработки пластика, приведенных в статьях [2], [14], [15], [11], [18], являются альтернативным решением в нахождении наиболее эффективного способа обработки композитов на основе пластика.

В совместной работе А. Сафонова и Л. Сафонова [16] рассмотрены основные вопросы теории и практики механической обработки пластмасс. Изучение закономерностей процесса резания пластмасс, оценка их реологических и термических характеристик позволят обеспечить необходимое качество обрабатываемых поверхностей и увеличить эффективность обработки. Особое внимание следует уделить процессу охлаждения режущего инструмента, способствующему повышению качества обработанной поверхности с увеличением производительности. Представленные общие закономерности процесса механической обработки полимеров помогают оптимизировать отдельные факторы, влияющие на процесс резания.

Очень важно учитывать особенности обрабатываемости композитов на основе пластика, влияние проблем, которые могут возникнуть в результате их механической обработки, на эффективность процесса резания, качество обработанной поверхности, а также стойкость инструмента. В работе В. К. Нгуен [9] рассматривает влияние технологических параметров на шероховатость обработанной поверхности при резании пластмасс. Установлено, что шероховатость поверхности при продольном точении зависит от сочетания режимов резания и характеристик режущих инструментов: подача, главный и вспомогательный угол в плане, радиус при вершине лезвия. В работе выведены уравнения геометрических соотношений технологических параметров для предварительного определения детерминированной геометрией инструмента составляющей высоты микронеровностей при продольном и поперечном точении,

а также при торцевом фрезеровании. В работе Я. А. Вострикова и О. Ю. Еренкова [8] исследованы факторы, влияющие на процесс резания полимерных материалов. Установлена низкая эффективность применения предназначенных для обработки металлов режущих инструментов и технологических методов при обработке пластмасс. Учитывая, что полимеры имеют отличные от металлов и сплавов свойства, применение инструмента для обработки металла нецелесообразно. Например, теплообразование при резании пластмасс приводит к более негативным последствиям. На обработанной поверхности возникают прижоги, оплавления, сколы.

Разработка оптимальных решений механической обработки и рассмотрение проблем обрабатываемости для конкретных видов композитов на основе полимеров является важной ступенью в формировании нормативных материалов и решении проблемы обеспечения высокого качества поверхности. В работе *A. Yardi-meden* [4] исследовано влияние режимов резания механической обработки композиционных материалов на основе стеклопластика на улучшение качества полученной поверхности. По результатам исследования установлено, что снижение подачи, увеличение скорости резания приводит к уменьшению шероховатости поверхности Ra ; для аналогичных значений подачи и скоростей резания увеличение радиуса вершины инструмента приводит к уменьшению шероховатости поверхности; сила резания увеличивается с увеличением подачи и скорости резания; увеличение радиуса при вершине инструмента уменьшает силы резания. Из чего следует, что высокая скорость резания, низкое значение подачи наиболее оптимальный вариант для получения поверхности с низкой шероховатостью. В совместной работе Mahmoud M. A. Nassar, Ramanathan Arunachalam, Khalid I. Alzebdeh [6] рассмотрены проблемы обрабатываемости композитов, армированных натуральным волокном при сверлении и фрезеровании, а также рекомендованы оптимальные режимы резания по отношению к рассматриваемым методам обработки. Проведена оценка влияния параметров режущего инструмента и режимов обработки на возникновение и величину расслоения материала под воздействием сил резания. Установлено, что к уменьшению расслоения приводит увеличение скорости резания и уменьшение подачи, применение параболических сверл и сверл с величиной угла при вершине, близкой к 118° . Однако, высокие скорости

вращения шпинделя приводят к крошению стружки, что указывает на повышение хрупкости материала и снижение качества обработанной поверхности из-за появления микротрещин.

В работе *M. Putz, M. Dix, M. Neubert, G. Schmidt, R. Wertheim* [5] проведено исследование механической обработки эластомера на основе бутадиен-нитрильного каучука (NBR) с предварительной криогенной обработкой. Исследования показали улучшение обрабатываемости материала при использовании жидкого азота, выразившееся в уменьшении пластической деформации обработанной поверхности и увеличении склонности к хрупкому разрушению.

В работе *V. Lopresto, A. Caggiano, c, R. Teti* [3] исследованы основные проблемы, возникающие при механической обработке армированных волокном пластиков, наиболее серьезной из которых является повреждение армирующих волокон и прилегающего к ним материала заготовки. Установлено, что помимо геометрии режущего инструмента и режимов резания, особое влияние оказывает ориентация направления резания относительно волокон обрабатываемого материала. При угле взаимной ориентации до 30° достигается повышение качества обработанной поверхности. Обработка при угле ориентации волокон более 60° приводит к растрескиванию обработанной поверхности параллельно направлению волокна, а также износу по задней поверхности режущего инструмента.

Новые инструментальные материалы (PCD, CBN, DLC, TiN), конструкция инструмента и оптимальный выбор режимов резания может существенно увеличить стойкость инструмента. В совместной работе *Jinguan Du, Haizhen Zhang, Yongmiao Geng, Wuyi Ming, Wenbin He, Jun Ma, Yang Cao, Xiaoke Li, Kun Liu* [1] проанализированы проблемы механической обработки керамических матричных композитов, армированных углеродом.

Оптимизация существующих режимов резания является одним из основных направлений в решении вопроса эффективности обработки пластика. В работе *В. А. Самсонова* [10] разработаны рекомендации по выбору рациональных условий точения деталей из пластмасс с заданной шероховатостью поверхности на основе обобщения научных статей, справочных материалов, каталогов, отечественной и иностранной литературы. С помощью предложенных эмпирических зависимостей и таблиц попра-

вочных коэффициентов возможно определить рациональные режимы резания при точении деталей из пластмасс.

В совместной работе *О. Е. Еренкова, А. П. Богачева, М. В. Зеленова* [15] предложен способ токарной обработки заготовок из капролона, при котором обеспечивается повышение точности размеров и формы обработанной поверхности. Задача решается тем, что заготовку из капролона предварительно подвергают обработке шариком. Глубину резания устанавливают с учетом величины упругого восстановления деформированного шариком поверхностного слоя заготовки. В указанном слое образуется структура материала, в которой часть связей разрушена, а часть напряжена и имеет низкую энергию активации связей, что способствует разрыву части возбужденных связей в полимерных цепях тепловыми флуктуациями. Предварительная обработка позволяет снизить прочность поверхностного слоя капролона на 8–11 %, вследствие чего при дальнейшей обработке резанием повышается точность размеров и формы полученной поверхности.

Представленный анализ иллюстрирует актуальность исследований в области механической обработки пластиков в связи с совершенствованием и наращиванием применения данных материалов в важных для современного общества областях. Как в России, так и за рубежом ведутся работы по всестороннему изучению данного вопроса и скорейшей выработке наилучших технологических и инструментальных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A review on machining of carbon fiber reinforced ceramic matrix composites / J. Du et al. // *Ceramics International*. – 2019. – № 45. – С. 18155–18166.
2. A study of cutting temperatures in turning carbon-fiber-reinforced-plastic (CRFP) composites with nose radius worn tools / C.S. Chang // *Polymers and Polymer Composites*. – 2018. – № 26 (1). – С. 19–26.
3. High Performance Cutting of Fibre Reinforced Plastic Composite Materials / V. Lopresto et al. // *Procedia CIRP*. – 2016. – № 46. – С. 71–82.
4. Investigation of optimum cutting parameters and tool radius in turning glass-fiber-reinforced composite material / A. Yardimeden // *Sci Eng Compos Mater*. – 2016. – № 23(1). – С. 85–92.
5. Investigation of Turning Elastomers Assisted with Cryogenic Cooling / M. Putz et al. // *Procedia CIRP*. – 2016. – № 40. – С. 631–636.
6. Machinability of natural fiber reinforced composites: a review / Mahmoud M. A. Nassar et al. // *Int J Adv Manuf Technol*. – 2017. – № 88. – С. 2985–3004.
7. Micro Model of Carbon Fiber/Cyanate Ester Composites and Analysis of Machining Damage Mechanism / Liu et

- al. // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2019. № 32. – С. 52.
8. Анализ параметров режущих инструментов для механической обработки полимерных материалов / Я. А. Востриков, О. Ю. Еренков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012. – Т. 1. – С. 23–27.
9. Влияние технологических параметров на шероховатость изделий при обработке пластмасс / Нгуен Ван Кыонг, Дао Тиен Той, Чинь Тхань Нга // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 8. Ч. 1. – С. 356–363.
10. Выбор режимов резания при обработке деталей из пластмасс точением / В. А. Самсонов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2017. – № 41. – С. 153–156.
11. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов / О. Ю. Еренков, А. В. Гаврилова // Вестник ТОГУ. Технические науки. – 2007. № 1(4). – С. 137–140.
12. Оптимизация режимов резания при лезвийной обработке глубоких отверстий в полимерных деталях / А. В. Стукач, А. А. Соловьев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. – № 1(11). – С. 15–17.
13. Особенности точения пластиков Ф-4, ПА-6, Ф-4К20 / Д. И. Токарев, А. А. Дроздов, М. Н. Гуляев и др. // Вестник ПНИПУ. – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 35–42.
14. Пат. 132199 Россия, U1 G01N 3/58. Устройство для определения начала наступления термической деструкции полимерных композиционных материалов и пластмасс при их обработке резанием / В. М. Ярославцев, Н. Г. Назаров. – Заявка 2013114748/28 от 02.04.2013 – Оpubл. Бюл. №25 от 10.09.2013.
15. Пат. 2554142 Россия, С1 В29С 37/00, В29С 59/02. Способ токарной обработки заготовок из капролона / О. Ю. Еренков, А. П. Богачев, М. В. Зеленев. – Заявка 2014100813/05 от 10.01.2014. – Оpubл. Бюл. №18 от 27.06.2015.
16. Прямоугольные электрические соединители. Основные вопросы теории и практики механической обработки пластмасс / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – № 7. – С. 44–50.
17. Прямоугольные электрические соединители. Основные принципы проектирования и изготовления деталей из фторопласта-4 методом механической обработки / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2013. – № 6. – С. 56–62.
18. Способ точения заготовок из пластмасс / О. Ю. Еренков // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении : сб. науч. ст. – 2016. – С. 41–43.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 658.265

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-59-61

В. Д. Жохов, С. П. Смольяков, А. Д. Жохов, Ю. П. Сердобинцев

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vlad.zhohov@yandex.ru

Проведен анализ принципа работы насосных станций и их систем управления. Разработан алгоритм управления насосными агрегатами с применением преобразователя частоты (ПЧ). На основе данного алгоритма создано программное обеспечение для программируемого логического контроллера (ПЛК).

Ключевые слова: насосная установка, насосная станция, преобразователь частоты, программа управления, программируемый логический контроллер (ПЛК).

V. D. Zhokhov, S. P. Smolyakov, A. D. Zhokhov, Yu. P. Serdobintsev

REDUCING ENERGY COSTS AND INCREASING THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC DRIVE OF PUMPING UNITS BY INTRODUCING A FREQUENCY CONVERTER INTO THE CONTROL SYSTEM

Volgograd State Technical University

The analysis of the principle of operation of pumping stations and their control systems is carried out. An algorithm for controlling pumping units using a frequency Converter (if) has been developed. Based on this algorithm, software for a programmable logic controller (PLC) was created.

Keywords: pumping plant, pumping station, frequency Converter, control program, programmable logic controller (PLC).

Рост цен на электроэнергию и другие энергоресурсы послужил причиной появления потребности в снижении затрат на них. Оценка затрат энергоресурсов на многих предприятиях дает понять, что у данной задачи есть два пути решения: организационно-технические мероприятия, направленные на снижение лишних растрат энергоресурсов, и внедрение более энергоэффективных технологий и энергосберегающего оборудования, которое позволяет совершить тот же объем работ при меньшем расходе энергии [1].

Электропривод насосных установок холодного и горячего водоснабжения, канализационные насосные станции и системы отопления потребляют не менее четверти всей вырабатываемой электроэнергии [2].

Большой уровень потребления электроэнергии является результатом низкого КПД насос-

ных установок и систем водоснабжения в целом.

В большинстве случаев электроприводы этих механизмов являются нерегулируемыми, из чего следует неспособность обеспечить режим эффективного энергопотребления и расхода при изменении технологических потребностей в широких пределах. Выбранные, исходя из максимальной производительности, эти механизмы значительную часть времени работают с меньшей производительностью, что определяется изменением потребности в разные периоды времени.

Регулирование производительности в широком диапазоне и обеспечение защиты двигателя является актуальной задачей для производителей современных насосных станций. Применение преобразователя частоты обеспечивает как управление насосом (плавный пуск двигателя, контроль параметров напряжения входно-

го и выходного электропитания, мощности, частоты, силы тока и т. д.), так и защиту двигателя насоса от перегрузки по току [3].

Также, при эксплуатации насосных станций необходимо контролировать большое количество параметров технологического процесса:

- 1) текущее давление во входном и выходном коллекторах;
- 2) контроль расхода жидкости;
- 3) контроль кавитационного срыва насоса и «сухого пуска»;
- 4) контроль готовности насоса к запуску;
- 5) контроль температуры обмоток электродвигателя насоса.

Контроль готовности насоса к запуску обеспечивают датчики давления, установленные во входном и выходном коллекторах; исключение возможности «сухого пуска» повышает ресурс работы насоса и увеличивает про-

должительность периода работы насоса между необходимым техническим обслуживанием [4]. В случае прекращения подачи жидкости в работающий насос или в случае прогрева этой жидкости и, соответственно кавитационного срыва насоса, автоматика останавливает электродвигатель насоса, используя сигнал от электроконтактного манометра. Контроль расхода реализуется с помощью расходомера установленного в трубопроводе после всех насосов. Его задача предупредить оператора о наличии тенденции к падению давления, т. е. о необходимом увеличении подачи жидкости. В случае превышения температуры в этой зоне насос автоматически останавливается и, далее, выполняется его техническое обслуживание, связанное с заменой уплотнения штока [5]. Структурная схема математической модели системы представлена на рис. 1.

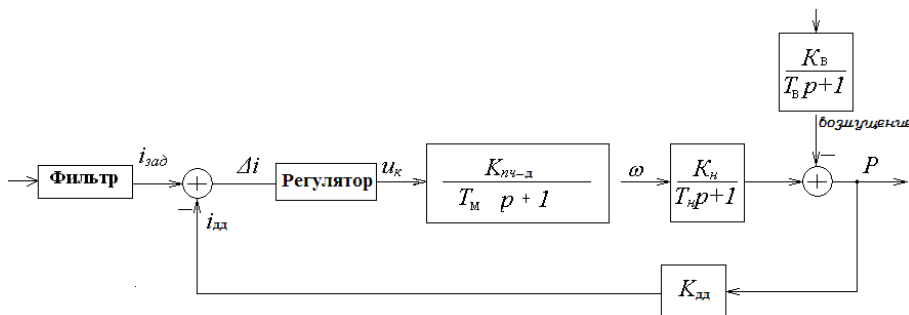


Рис. 1. Структурная схема модели системы

Для программной реализации данного алгоритма был использован программный пакет CoDeSys V2.3 для программируемых логических контроллеров (ПЛК) ОВЕН. Для создания интерфейса панели оператора была использована программа «Конфигуратор СП200» для программирования панелей оператора ОВЕН.

Программа для управления насосной станцией написана на языках FBD и ST стандарта МЭК 61131.

Используя средства визуализации, разработанную программу можно представить на панели оператора. Главный экран программы изображен на рис. 2.

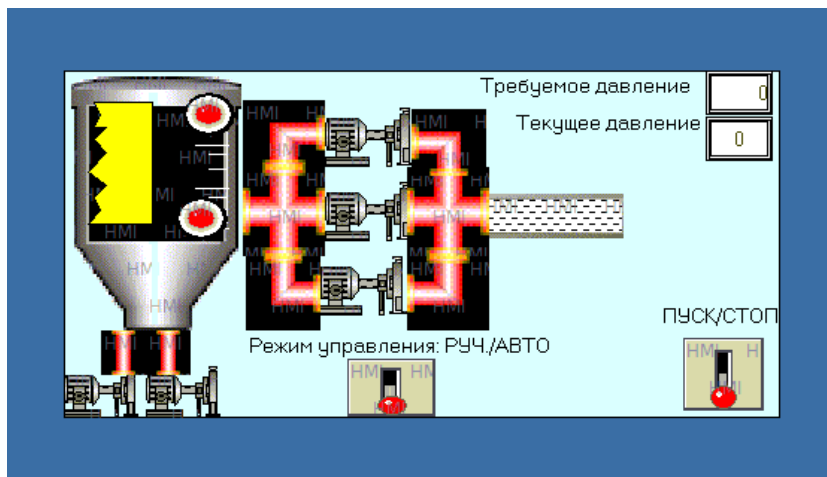


Рис. 2. Главный экран программы

Главный экран является стартовым меню программы.

Из главного меню можно осуществить следующие действие:

- пуск/останов системы;
- изменение режима работы.

Данные действие осуществляется нажатием на соответствующую пиктограмму на панели оператора.

На главном экране отображается следующая информация:

- давление в выходном коллекторе;
- состояние насоса;
- индикация заполнения резервуара.

Применение ПЛК и разработанной программы значительно расширяют возможности рассматриваемой установки. Панель оператора позволяет упростить управление и повысить его качество, благодаря отображению основных параметров насосной станции.

Необходимо отметить еще один принципиальный момент, обусловленный общей тенденцией в развитии оборудования. Это желание получить полностью автоматическую установку, что, во-первых, снижает затраты и, во-вторых, сводит к минимуму риски, связанные с человеческим фактором. Такие агрегаты могут работать в полностью автоматическом режиме без присутствия оператора [6].

Таким образом, насосная станция с применением преобразователя частоты и других

средств автоматизации является на сегодня наиболее эффективной, надежной, безопасной и рентабельной.

В дальнейшем планируется усовершенствовать данную систему управления введением новых контролируемых параметров (текущий расход, давление в распределенной системе трубопровода) и внедрить ее на реальном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильинский, Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.
2. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздушных установках / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
3. Петров, Д. Н. Регулируемый привод в насосных установках / Д. Н. Петров, Ю. В. Сербин // Силовая электроника. – 2005. – С. 27–30.
4. Барабанов, В. Г. Использование программного комплекса CoDeSys для разработки системы автоматического управления насосной установкой с применением преобразователя частоты / В. Г. Барабанов, Д. П. Гаврилов // Известия ВолгГТУ : научный журнал / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 103–105.
5. Петров, Д. Н. Применение современных преобразователей частоты / Д. Н. Петров, Ю. В. Сербин // Силовая электроника, 2005. – С. 8–11.
6. Ким, А. Н. Оптимизация насосных систем подачи воды при различных напорно-расходных параметрах водопотребления / А. Н. Ким, О. А. Штейнмиллер // Сборник докладов 5-й международной НПК (в рамках выставки «Baltic Build-2006»). – СПб., 2006. – С. 22–28.

УДК 629.038

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-61-64

Я. В. Калинин, С. С. Семенов, Н. А. Сурганов, С. Н. Шабанов

РАЗРАБОТКА КОЛЕСНО-ШАГАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АГРО-РОБОТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Данная статья посвящена разработке колесно-шагающей платформы, задачей которой является перемещение в естественных условиях, по бездорожью. В ней описаны: пошаговая схема преодоления препятствия восьмиопорной (восьминогой) колесно-шагающей платформой и конструкция-макет, построенная в среде SolidWorks. Также представлена многоуровневая система управления платформой, построенная по иерархическому принципу.

Ключевые слова: колесно-шагающая платформа, система управления, пошаговая схема преодоления препятствий.

Ya. V. Kalinin, S. S. Semenov, N. A. Surganov, S. N. Shabanov

DEVELOPMENT WHEEL-LEGGED PLATFORM FOR AGRO-ROBOT

Volgograd State Technical University

This article is devoted to the development of a wheel-legged platform, the task of which is to move in natural conditions, off-road. A step-by-step scheme of overcoming an eight-point (eight-legged) wheel-legged platform and a mock-up built in SolidWorks are described. A layered hierarchic control system of the platform is presented.

Keywords: Wheel-legged platform, control system, step-by-step scheme of overcoming obstacles.

Колесно-шагающими машинами традиционно называют класс аппаратов, в которых стопами шагающих движителей служат колеса. Такие машины могут работать в двух режимах: в режиме колесной машины и в шагающем режиме. В первом случае шагающие движители блокируются, и машина движется только с использованием колес. Во втором случае машина осуществляет шагание, отрывая поочередно колеса от грунта и переставляя их на новое место. При этом колеса, находящиеся в контакте с грунтом, могут как блокироваться, так и вращаться согласованно с движением опорных ног, как это описано в публикации «Колесные планетоходы ВНИИТМ» [1].

Поэтому целью данной статьи является рассмотрение колесно-шагающей платформы, в которой режимы колесной машины и в шагающем режиме разведены по разным системам.

В настоящее время наиболее распространены мобильные роботы с колесным типом шасси. Использование колес для движения позволяет обеспечить высокую маневренность платформы, простоту конструкции и методов управления. Однако наряду с достоинствами колесного способа передвижения есть ряд недостатков. В частности, для обеспечения возможности перемещения по неровным поверхностям приходится усложнять конструкцию, увеличивать количество колес. А такие препятствия, как широкая канава или высокая ступенька, преодолеть при помощи колес относительно небольшого диаметра практически невозможно.

Шагающие платформы имеют более высокую проходимость, но при этом обладают сложной конструкцией и системой управления, а также невысокой скоростью движения. Шагающие роботы могут иметь разное количество ног, причем считается, что в рамках модели статической устойчивости «шесть ног» - оптимальное решение с точки зрения обеспечения проходимости и скорости передвижения [2].

Использование колес и опор (ног) в гибридной конструкции платформы, позволяет учесть преимущества и компенсировать недостатки двух способов перемещения (колесный и шагающий). Недостатком данной колесно-шагающей платформы является утяжеление конструкции, что ведет за собой увеличение энергопотребления.

Приведем примеры колесно-шагающих машин: аппарат, созданный ВНИИТМ [1], робот ATHLETE [3], и ряд других разработок [4; 5; 6; 7].

В данной статье представлены макет и система управления восьмиопорной колесно-шагающей платформы, способной перемещаться в двух названных выше режимах: езда на колесах, ходьба при помощи опор.

В качестве исходных данных для разработки использовалась виртуальная модель восьмиопорной колесно-шагающей платформы, построенная в графической среде SolidWorks (рис. 1). Укажем основные технические характеристики описываемого разработанного макета:

- Форма платформы – прямоугольник со сторонами 600 мм и 300 мм
- Масса колесно-шагающей платформы – 5,3 кг.
- Максимальная высота подъема опор – 300 мм

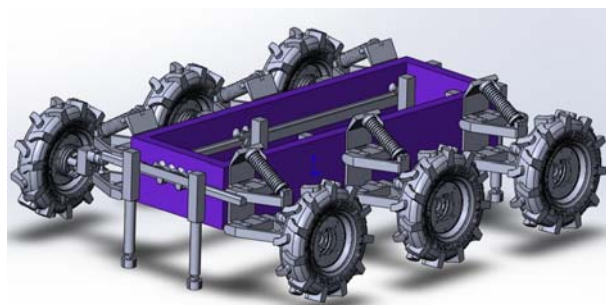


Рис. 1. Модель макета колесно-шагающей платформы в среде SolidWorks

На рис. 2 представлена структурная схема системы управления колесно-шагающей платформы. Она построена по иерархическому принципу, делящаяся на 3 уровня:

- 1) супервизорный;
- 2) верхний;
- 3) нижний.

При такой структуре управления платформа может функционировать в двух режимах управления: ручной и автоматический.

Супервизорный уровень системы управления платформы входит пульт управления на основе персонального устройства. На этом уровне осуществляется работа оператора, посредством персонального устройства даются команды системе, а также просматриваются данные с датчиков.

Верхний уровень системы управления колесно-шагающей платформы включает в себя системы алгоритмов движения, анализа и преобразования информации, выдачи управляющих команд, а так же систему ориентации. Данные с системы ориентации, других датчиков, а также от оператора обрабатываются сис-

темой анализа и преобразования информации. На основе полученного результата решается обратная задача: положение для осуществления платформой заданного движения.

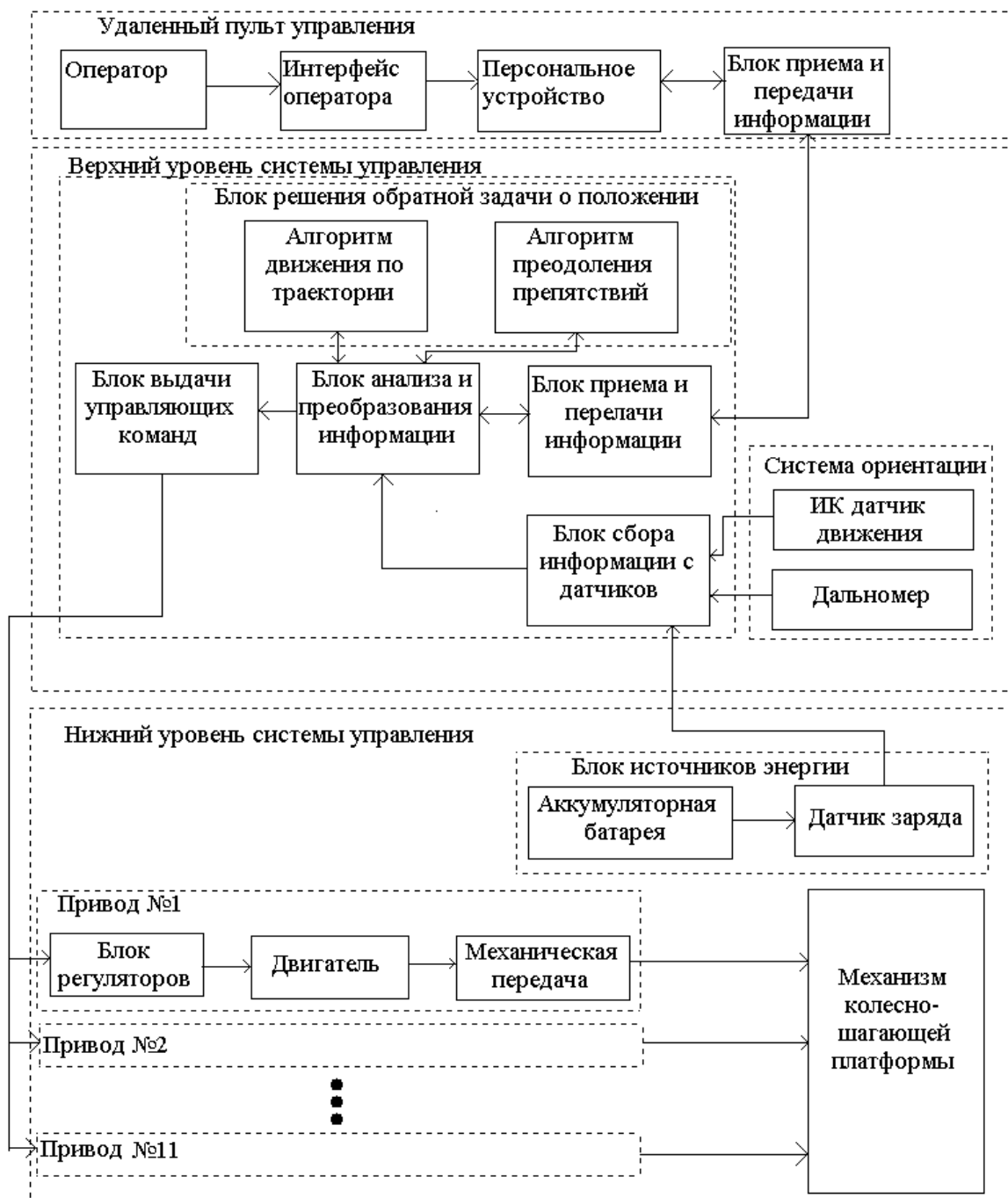


Рис. 2. Структурная схема управления колесно-шагающей платформой

Нижний уровень системы управления платформы включает в себя набор приводов, блок источников энергии, и саму конструкцию колесно-шагающей платформы. На нем осуществляется работа приводов платформы и выполняются механические манипуляции платфор-

мы. Управляющие команды приводы получают с верхнего уровня.

В ситуации, когда платформа сталкивается с препятствием, срабатывают датчики ориентации, происходит остановка машины в колесном режиме (рис. 3, шаг 1). На рис. 3 показана

пошаговая схема преодоления препятствия в шаговом режиме. Следующим действием, после остановки платформы, идет выдвижение задних и передних опор, для фиксации нужной

высоты и дальнейшего преодоления препятствия (рис. 3, шаг 2). Далее производится выдвижение четырех центральных опор (рис. 3, шаг 3).

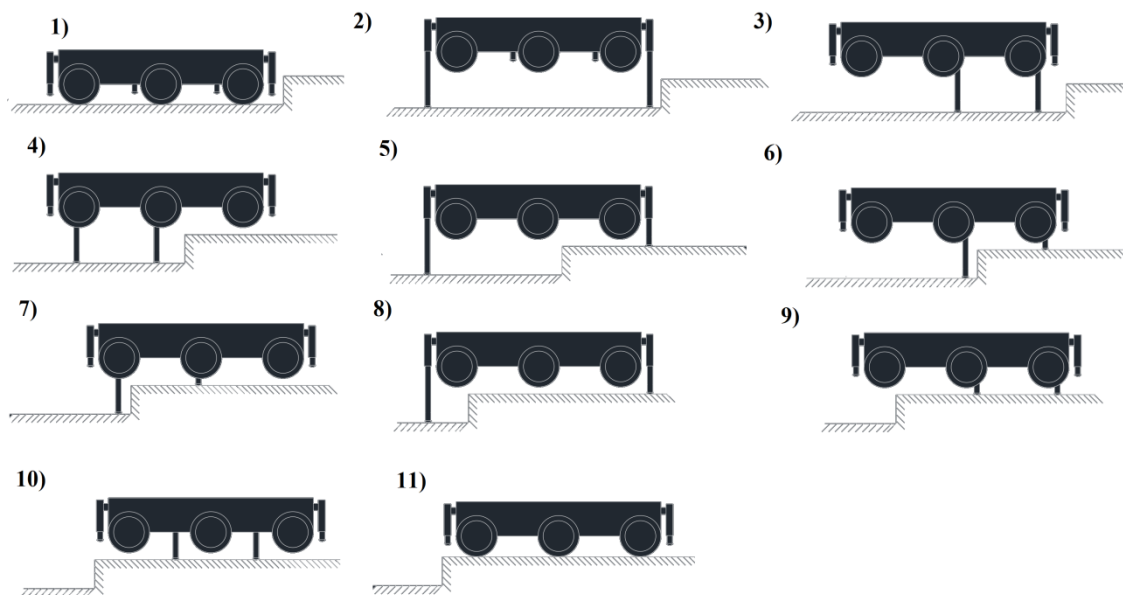


Рис. 3. Пошаговая схема преодоления препятствий

После шага 3 следует передвижение по речной передаче четырех центральных опор, тем самым осуществляя видимое передвижение платформы (рис. 3, шаг 4). Данный алгоритм заикликуется до полного преодоления препятствия, так как при данной конструкции за одну итерацию платформа полностью не сможет преодолеть возвышенность или ров.

В данной статье описана конструкция макета восьмиопорной колесно-шагающей платформы. Эта разработка позволяет при необходимости применять на практике два режима движения: передвижение на колесах и передвижение на опорах.

Представлена иерархическая система управления колесно-шагающей платформой, где на верхнем уровне осуществляется задача о положении платформы, а на нижнем – работа приводов.

Также показана пошаговая схема преодоления препятствий за несколько повторений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охоцимский, Д. Е. Алгоритмы управления шагающим аппаратом, способным преодолевать препятствия / Д. Е. Охоцимский, А. К. Платонов // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. – 1973. – № 5. – 3 – 10 с.
2. Антонов, А. В. Система управления трехопорным колесно-шагающим роботом / А. В. Антонов, С. А. Воронников, Н. А. Выборнов // Прикаспийский журнал, Управление и высокие технологии. – 2016. – № 2. – 58 – 69 с.
3. Editor: NASA Content Administrator. The ATHLETE Rover [Электронный ресурс] // NASA : официальный сайт – 2020 – Режим доступа : https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_748.html (дата обращения 26.05.2020).
4. Малолетов, А. В. Динамика и оптимизация структуры, параметров и алгоритмов управления движением шагающих машин со сдвоенными шагающими движителями : автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Малолетов А. В. – Волгоград, 2015. – 316 с.
5. Kaiser [Электронный ресурс] // Kaiser : официальный сайт – 2020 – Режим доступа : <http://www.kaiser.li/en/home/> (дата обращения 26.05.2020).
6. Muller G. Modeling, simulation, and model-based control of the walking machine ALDURO / G. Muller, M. Schneider, M. Hiller // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2000. – P. 142–152.
7. Павловский, В. Е. О разработках шагающих машин / В. Е. Павловский // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – Москва, 2013. – 32 с.

УДК 621.867.8

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-65-67

*М. А. Лапиков, Д. С. Барабанов, И. В. Волков, А. М. Макаров***РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ МАНИПУЛИРОВАНИЯ БИГ-БЭГОМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: amm34@mail.ru

Проводится разработка и исследование автоматизированного устройства для манипулирования биг-бэгом в процессе расфасовки. Представлено описание конструкции и принципа действия устройства, а также результаты компьютерного моделирования его работы.

Ключевые слова: автоматизация, манипулирование, биг-бэг, фасовка, упаковка.

*M. A. Lapikov, D. S. Barabanov, I. V. Volkov, A. M. Makarov***DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE AUTOMATED
DEVICE FOR MANAGING A BIG-BAG****Volgograd State Technical University**

The development and research of a device for automating the manipulation of big-bag in the process of packaging. A description of the design and operation of the device, as well as the results of computer modeling of this operation was presented.

Keywords: automation, manipulation, big-bag, packing, packaging.

С ростом промышленных масштабов идет рост потребления и производства различных материалов. Гибкий контейнер типа биг-бэг позволяет вместить большее количество сыпучего материала, упростить транспортировку, разгрузку и отгрузку сырья и готовой продукции на производствах ввиду своей универсальности и вместительности. Однако процесс фасовки в такие контейнеры осложнен наличием таких конструктивных элементов как стропы, а также большим весом и размером. Все это требует специального оборудования для работы в ручном режиме, а также новых решений для автоматизации процесса.

Большинство решений, представленных на рынке, имеют сложную конструкцию элементов для захвата и удержания строп, что делает такие устройства ненадежными и затратными для обслуживания и ремонта, некоторые устройства не являются автоматизированными, что в свою очередь снижает производительность и качество упаковки, а также создает трудности для оператора фасовочной линии [1]. Известно устройство для затаривания биг-бэгов стеклобоя [2], такое устройство способно выполнять операции расфасовки сыпучим материалом в биг-бэги в ручном режиме. Система имеет простую конструкцию, и позволяет использовать стандартные биг-бэги с горловиной

из пористого материала без предварительного позиционирования их в рулон. Но при этом биг-бэги подвешиваются на раму для подвески оператором вручную, что снижает общую производительность и усложняет работу оператора. Существуют устройства [3; 4], позволяющие манипулировать гибкими контейнерами типа мешок вместимостью до 50 кг, данные устройства имеют ограниченные размеры, нагрузочные характеристики узлов и функциональные возможности, что не позволяет использовать их для манипулирования биг-бэгом. Также было изучено использование вакуумных захватов для воздухопроницаемой тары [5], однако биг-бэги имеют стропы, создающие дополнительное сопротивление и сложность захвата, большой вес и вместимость, что не позволит использовать в цикле фасовки лишь данный тип захватных устройств.

Для решения проблемы автоматизации расфасовки сыпучих материалов в биг-бэг разработано устройство для автоматизированного манипулирования (рис. 1). Данное устройство состоит из магазина биг-бэгов 1, манипулятора с механизмом захвата и подачи контейнера 2 под загрузочный патрубком 3 и устройства удержания строп под загрузочным патрубком 4, обеспечивающего неподвижность биг-бэга на протяжении всего процесса наполнения.

© Лапиков М. А., Барабанов Д. С., Волков И. В., Макаров А. М., 2020.

* Исследования выполнены при финансовой поддержке ФГБУ «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по программе «УМНИК», договор №15484ГУ/2020.

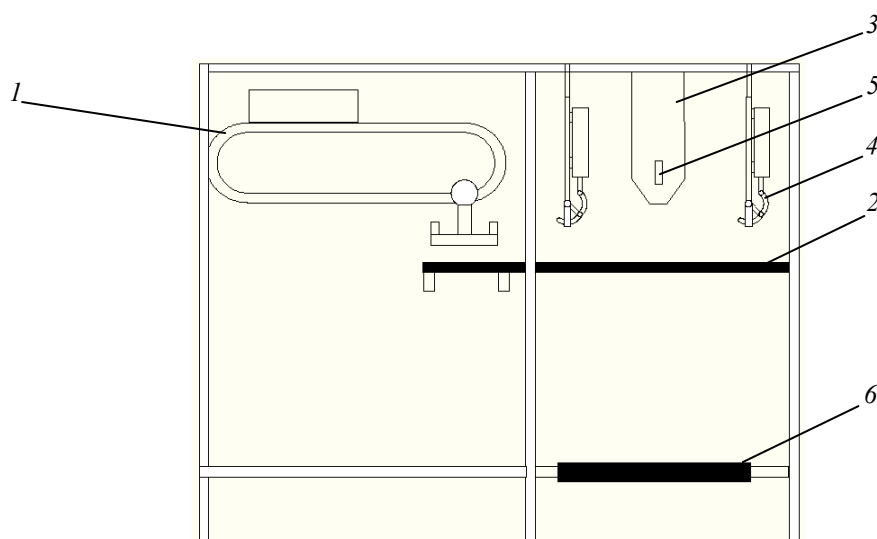


Рис. 1. Конструкция устройства

Загрузочный патрубок выполнен с возможностью вертикального перемещения, что позволяет увеличить точность загрузки и уменьшить пылевыведение сыпучих продуктов во внешнюю среду. Фиксация горловины на патрубке осуществляется с помощью опускания в нее внешней части патрубка, снабженного специальным фиксирующим элементом 5 в виде подвижных лепестков.

Все фиксирующие элементы имеют несколько положений, что позволяет по завершении операции фасовки освободить контейнер от захватов, опустить его на транспортировочную ленту 6 и вернуть все механизмы в начальное состояние, тем самым подготовив систему для дальнейшей работы и обеспечивая цикличность процесса расфасовки.

Магазин биг-бегов содержит направляющие рейки, по которым скользят каретки со штырями для навешивания строп. Каретки приводятся в движение с помощью мотор редуктора и цепной передачи. Вся система хранения контейнеров является неподвижной в плане регулировок по горизонтали.

Манипулятор производит захват строп из магазина с помощью штыревых захватов, установленных на пневмоцилиндрах, позволяющих снять и растянуть стропы, установив горловину мешка в центре системы наполнения. Так как биг-бэги имеют большой размер и требуют большого расстояния между системой накопления пустых мешков и загрузочной зоной, приводить манипулятор в горизонтальное и вертикальное движение с помощью пневматических цилиндров нерационально. Для этого

в системе необходимо использовать направляющие с цепной передачей.

Удерживающее устройство строп под загрузочным патрубком состоит из крюков, шарнирно закрепленных с помощью рычагов на раме устройства с одной стороны и на штоке пневмоцилиндра с другой.

Для исследования работоспособности данного конструктивного решения было проведено компьютерное моделирование возможности работы захватов устройства в непрерывном цикле (рис. 2). Цепи и мешок в анимации не показаны, так как являются сложным объектом с точки зрения моделирования процесса движения и отображения анимации в 3D-моделировании. Для упрощения описания процесса надевания мешка в анимации схематично, только стропы и горловина, показан только один мешок, выведенный на позицию захвата.

Компьютерное моделирование процесса манипулирования биг-бэгом показало возмож-

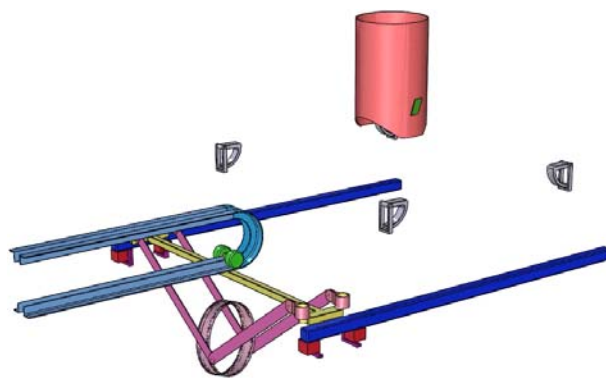


Рис. 2. 3D-моделирование процесса манипулирования

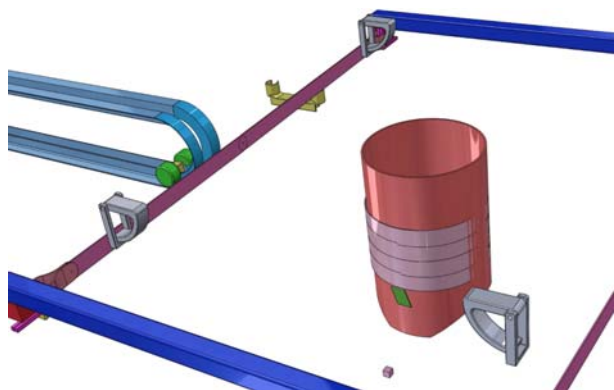


Рис. 3. 3D-моделирование в зоне загрузки

ность использования данного устройства в автоматизированном цикле фасовки. Внедрение данного устройства позволит использовать лишь одного оператора в зоне фасовки исключив работу с тяжелым весом, тем самым повысить эффективность и производительность процесса фасовки в контейнеры типа биг-бэг. Данное устройство также устраняет главный недостаток невысокой надежности существующих аналогов, так как контейнер на протяжении всего цикла удерживается штырями и крюками, принимающими на себя основную нагрузку, а также патрубком с зацепляющим фиксатором горловины, исключая сползание в процессе наполнения. Таким образом, использование данного устройства создает условия для комплексной автоматизации процесса расфасовки в биг-бэги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оборудование для автоматизированного учета и фасовки сыпучих продуктов / М. В. Сенянский, К. Е. Солнцев ; ЗАО «ВИК «Гензо-М», пос. Красково, Московская область // Приборы: научный журнал ПРИБОРЫ. – 2018. – № 1 (211). – С. 17–25.
2. Пат. 132777 Российская Федерация, МПК В65В 69/00, Устройство для затаривания Биг-Бэгов стеклобоем / В. В. Ефремов; Заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Стромизмеритель». – № 2013118865/13; заявл. 23.04.2013; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27.
3. Пат. 189814 Российская Федерация, МПК В65В 7/02 В65В 5/00, Устройство для автоматического манипулирования гибкими контейнерами / А. В. Ваганов, А. Е. Жульников, А. М. Макаров; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – № 2018137357; заявл. 22.10.2018; опубл. 04.06.2019, Бюл. № 16.
4. Пат. 186346 Российская Федерация, МПК В65В 7/02 В65С 1/02, Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия гибких контейнеров / А. М. Макаров, О. В. Мушкин, А. В. Дроботов, Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик, М. А. Лапиков; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – № 2018116722; заявл. 04.05.2018; опубл. 16.01.2019.
5. Исследование процесса автоматического захвата воздухопроницаемых гибких контейнеров с помощью вакуума при расфасовке сыпучих материалов [Электронный ресурс] / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев, О. В. Мушкин, М. А. Лапиков // Пром-Инжиниринг (The 3rd International Conference on Industrial Engineering 2017) : тр. III междунар. науч.-техн. конф. (г. Санкт-Петербург – г. Челябинск – г. Новочеркасск – г. Владивосток, 16-19 мая 2017 г.) / отв. ред.: А. А. Радионов ; ФГАОУ ВО «Южно-Уральский гос. ун-т» (национальный исследовательский ун-т). – Челябинск, 2017. – С. 212–217. – Режим доступа : <http://icie-rus.org/issues/ICIE-2017RU.pdf>.

УДК681.587.72

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-67-70

Г. Ю. Прокудин², Н. Г. Шаронов¹

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ЛИТЬЯ ПЛАСТМАССОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

¹ Волгоградский государственный технический университет

² Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники

E-mail: jura.prokudin@yandex.ru

Приводятся результаты разработки оборудования автоматизированного изготовления пластмассовых деталей для мелкосерийного производства. Выявлены методы повышения качества при литье реактопластов. Спроектирована и изготовлена автоматизированная установка, поддерживающая разработанную технологию литья реактопластов в гибкие литьевые формы.

Ключевые слова: литье реактопластов, автоматизированная вакуумная камера, пластмассовые детали.

G. Yu. Prokudin², N. G. Sharonov¹

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED VACUUM CHAMBER FOR SMALL-SCALE CASTING OF PLASTIC PARTS

¹Volgograd State Technical University

²Center for Technology Components of Robotics and Mechatronics

The results of developing the optimal technology for manufacturing plastic parts for small-scale production are presented. Methods for improving the quality of reactive plastics casting have been identified. Designed and manufactured automated equipment that support developed by the technology of casting thermosetting plastics in flexible molds.

Keywords: injection molding of thermosets, automated vacuum chamber, plastic parts.

На сегодняшний день существует несколько технологий для изготовления пластмассовых изделий. Наиболее часто используемая это литье пластика под давлением (массовое производство), однако на базе этой технологии невозможно добиться рентабельности при мелкосерийном производстве (10–1000 шт. одного вида детали), столь необходимом для создания корпусов небольших партий медицинского оборудования, измерительных приборов и т. д. Основная причина – в высокой стоимости формы для литья, которые являются достаточно крупными заготовками из нержавеющей стали, в последующем фрезеруемые на станках. Также существует способ штучного изготовления пластиковых деталей с использованием аддитивных технологий послойного направления, который рентабельно использовать при прототипировании небольшого числа изделий (1–10 шт). 3D печать является относительно дорогой, низкопроизводительной и низкосортной альтернативой из-за ребристости поверхности и анизотропии структуры.

В данный момент недостаточно развита оптимальная технология быстрого, дешевого и качественного изготовления корпусов в приборостроении при мелкосерийном производстве, а также отсутствует конкурентный рынок специального оборудования для ее широкого применения. В связи с этим предприятиям в области производства электроприборов (датчики пожарной и газовой безопасности, измерительные приборы, электромагнитные пускатели и т. д.); медицинского оборудования (слуховые аппараты, приборы измерения сахара в крови и т. д.) приходится заказывать небольшие партии корпусов своих приборов за границей или же идти на неоправданные затраты, изготавливая их на термопластавтоматах [1].

Постановка задачи

Планируемый результат – разработать полный технологический цикл полимерного литья (технология), разработать и изготовить автома-

тизированную установку полимерного литья (прототип) оригинальной конструкции (оборудование). Задачи исследования: выявить недостатки аналогов или схожих технологий литья реактопластовых полимеров; найти технологическое решение выявленным недостаткам; разработать последовательность технологических операций для литья пластмассовых корпусов из реактопластов; спроектировать автоматизированную установку для литья; произвести анализ произведенной продукции по данной технологии и сравнение с другими способами изготовления по критериям себестоимость, качество, время изготовления.

Технология литья реактопластов в гибкие отливочные формы

Основой технологии литья реактопластов в гибкие отливочные формы является уникальное свойство двухкомпонентных полимеров, при смешивании их в определенном отношении, образовывать прочные межмолекулярные связи за короткое (несколько минут) время. Свойства получившегося пластика в ходе химической реакции отличается от термопластов [2].

Реактопласты, обладая всеми достоинствами термопластов (прочность, малый удельный вес), не обладают их недостатками, а именно не плавятся и не теряют форму при высоких температурах и трудно разжигаемы, не растворяются в органических растворителях (ацетон, бензин, и т. д.). Такие уникальные свойства данных полимеров делают их наиболее подходящим материалом для создания корпусов электроприборов и других объектов электротехнического назначения, где возможно возгорание при аварии или поломке [3; 4].

Существенным недостатком применения подобного материала является то, что на этапе смешивания и заливки жидкий пластик насыщается пузырьками воздуха, которые невозможно в последующем устранить, что ухудшает внешний вид изделия и его прочностные свойства [5; 6].

Для устранения данной проблемы необходимо производить смешивание и литье в среде без воздуха (вакууме) для чего необходимо разработать установку, обладающую элементами автоматизации.

Цикл автоматизированного литья реактопласта в вакууме [5; 7] включает:

- разработку отливаемого изделия и его проектирование;
- изготовление мастер-модели (образца изделия) различным способом (3D-печать, фрезеровка или копирование готовой детали);
- изготовление литьевых форм из гибкого полиуретана или силикона;
- размещение литьевой формы и заливка компонентов жидкого пластика в автоматизированную литьевую установку;
- изготовление деталей в форме;
- очистку камеры и подготовку к следующему циклу.

Для реализации цикла по данной технологии спроектирована и изготовлена автоматизированная установка АВЛК-60.

Разработка автоматизированной установки для литья

Автоматизированная установка для литья АВЛК-60 (рис. 1) позволяет в автоматическом режиме создавать вакуум и сбрасывать его, а также смешивать компоненты полимера и выливать их в форму.

Результаты

Автоматизированная вакуумная камера для мелкосерийного литья пластмассовых деталей АВЛК-60 (рис. 2) является физической реализацией спроектированной установки. Установка состоит из герметичной вакуумной камеры, вакуумного насоса, электрического клапана, вакуумметра, механизмов смешивания и переели-

вания пластика, системы управления автоматизированным циклом [7].

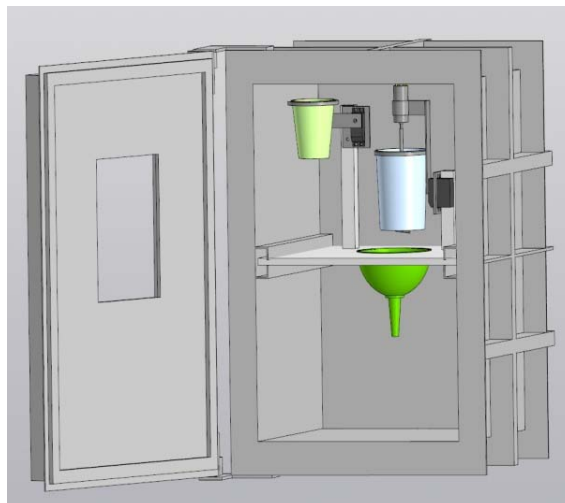


Рис. 1. Модель автоматизированной литьевой установки АВЛК-60 на этапе проектирования

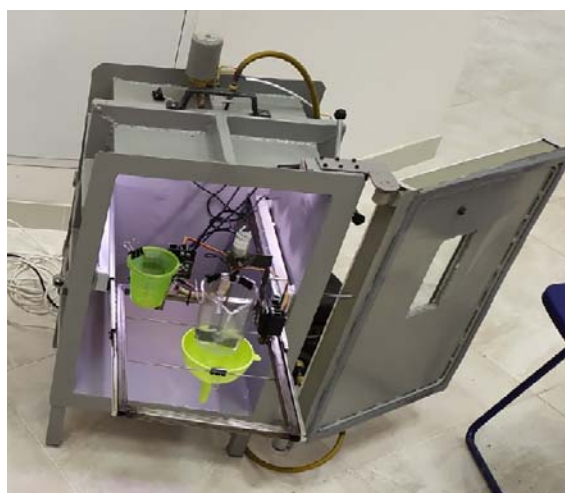


Рис. 2. Прототип АВЛК-60

Анализ характеристик аналогов и АВЛК-60 представлен в таблице.

Сравнительный анализ характеристик установок

Модель	Габариты, мм	Объем заливки, л	Управление	Стоимость в ценах 2020 года
АВЛК-60	350×350×500	0,5	автоматическое	120000 руб.
СТ Mini-M	460×460×390	1,0	ручное	498000 руб.
HVC-M	300×260×450	0,55	ручное	6000USD
FVC-2A	800×650×1490	3,0	автоматическое	73200 USD

По сравнению с аналогичными вакуумными камерами зарубежного производства АВЛК-60

имеет преимущество перед камерами малого объема, так как имеет автоматическую систему

управления, как и камеры для промышленного производства, обладающие большим объемом. Для предприятий, занимающихся прототипированием и изготовлением пластиковых корпусов, более рационально использовать камеры с малым заливаемым объемом, т. к. основная масса корпусов электроприборов не являются крупногабаритными деталями. В то же время, АВЛК-60 обладает потенциально конкурентно ценной, особенно в сравнении с зарубежными аналогами. АВЛК-60 обладает рядом оптимальных характеристик, не встречающихся в полном объеме у существующих вакуумных литьевых камер.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-70-72

А. И. Репников, М. П. Кухтик

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕТСКОЙ КАРУСЕЛЬЮ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Разработана и изготовлена автоматизированная система управления детской каруселью. Спроектирован шкаф управления детской каруселью, и написана программа управления для программируемого логического контроллера. Система управления повышает надежность работы детской карусели и обеспечивает возможность регулирования скорости вращения стоек.

Ключевые слова: детская карусель, программируемый логический контроллер, программа управления, шкаф управления.

A. I. Repnikov, M. P. Kukhtik

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF CHILDREN'S CAROUSEL

Volgograd State Technical University

Automated control system for children's carousel has been developed and manufactured. Control cabinet for children's carousel has been designed and control program for programmable logic controller has been written. Control system increases operation reliability of children's carousel and secures ability to control rotation speed of racks.

Keywords: children's carousel, programmable logic controller, control program, control cabinet.

В настоящее время важнейшей задачей любого оборудования является простота и надежность, особенно когда система используется для работы с детьми. Для обеспечения высокой надежности в работе детской карусели был спроектирован шкаф управления, а затем для него была написана программа управления. Общий вид шкафа управления показан на рис. 1.

Данный шкаф предусматривает управление каруселью как в автоматическом режиме с помощью программируемого логического контроллера *I* фирмы Phoenix Contact [1], так и в ручном режиме с использованием набора реле 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Филатов, В. И.* Технологическая подготовка процессов формования изделий из пластмасс / В. И. Филатов, В. Д. Корсаков. – Л., Политехника., 1991.
2. *Коршаков, В. В.* Термостойкие полимеры / В. В. Коршаков. – М., Наука, 1969.
3. *Басов, Н. И.* Литьевое формование полимеров / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков. – М., Химия, 1984.
4. *Назаров, Г. И.* Теплостойкие пластмассы : справочник / Г. И. Назаров, В. В. Сушкин. – М., Машиностроение, 1980.
5. *Альшиц, И. Я.* Проектирование деталей из пластмасс / И. Я. Альшиц, Б. Н. Благов. – М., Машиностроение, 1977.
6. *Брагинский, В. А.* Точное литье изделий из пластмасс / В. А. Брагинский. – Л., Химия, 1977.
7. *Калинчев, Э. Л.* Автоматизированные литьевые машины и системы управления ими / Э. Л. Калинчев, А. И. Кригев. – М., НИИМаш, 1980.

Переключение между автоматическим и ручными режимами осуществляется с помощью двухпозиционного переключателя, расположенного на двери шкафа управления. Там же расположены кнопки управления всеми исполнительными механизмами в ручном режиме.

Детская карусель представляет собой вертикальный металлический штырь, на котором закреплены четыре стойки и два электродвигателя, каждый из которых управляет парой стоек. На стойках закреплены детские кабины, а также соленоидные клапаны, которые позволяют вертикально поднимать и опускать кабины.

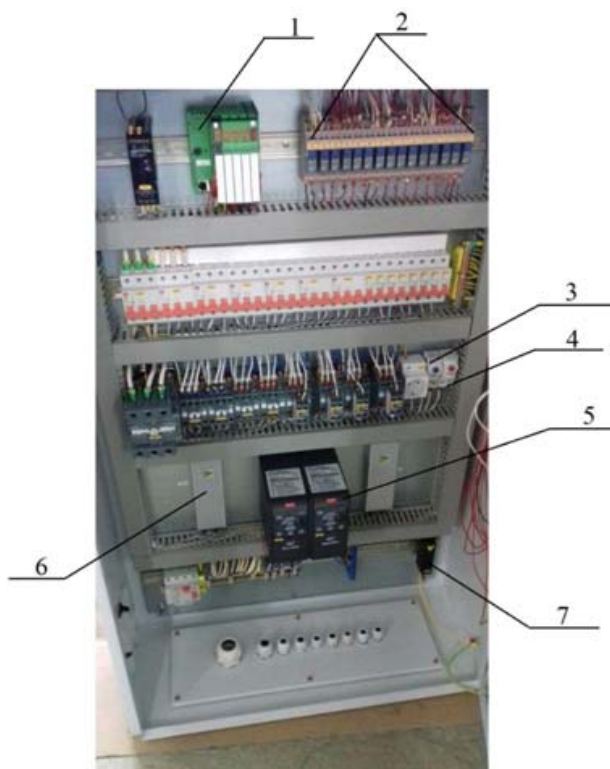


Рис. 1. Шкаф управления:
 1 – ПЛК; 2 – набор реле; 3 – терморегулятор (на холод);
 4 – терморегулятор (на обогрев); 5 – преобразователи частоты;
 6 – тормозные резисторы; 7 – обогреватель

Скорость вращения стоек задается вручную оператором, ее изменение возможно с помощью пары преобразователей частоты 5 фирмы Danfoss VLT MicroDrive (по одному преобразователю частоты для каждого электродвигателя). Торможение вращающихся стоек происходит с помощью тормозных резисторов 6 (по одному на каждый электродвигатель). Система спроектирована таким образом, что в случае выхода из строя преобразователя частоты возможно осуществлять запуск электродвигателей напрямую с помощью контакторов напрямую [4], используя кнопки на двери шкафа управления.

Программа, осуществляющая управление детской каруселью, написана на языках программирования стандарта МЭК 61131-3 и представляет собой комбинацию структурированного языка ST и языка функциональных блоков FBD [2]. FBD в данном случае удобен для быстрого присвоения входам и выходам контроллера значений сигналов (логический ноль или логическая единица). Логический ноль означает отсутствие сигнала, логическая единица – подача контроллером сигнала напряжением 5 В на исполнительный механизм [3], например, на пуск электродвигателя или на поднятие (опускание) соленоидных клапанов. Фрагмент программы на языке FBD представлен на рис. 2.

(*Запись дискретных выходов*)

CMD.main_rotation_motor_run———ONBOARD_OUTPUT_VBT0
 CMD.hydro_solenoid_run———ONBOARD_OUTPUT_VBT1
 CMD.hydro_pump_run———ONBOARD_OUTPUT_VBT2

(*Команда Включить привод основного вращения*)

(*Команда Открыть все 4 соленоида*)

(*Команда Включить насос гидростанции 1 и 2*)

+

FC.jog_low_speed_cmd——DO_M1_OUT1 (*Вращение крестовин медленно*)
 FC.jog_high_speed_cmd——DO_M1_OUT2 (*Вращение крестовин быстро*)
 CMD.bel———DO_M1_OUT3 (*Звонок*)

Рис. 2. Фрагмент программы на языке FBD

На структурированном языке ST реализован основной алгоритм работы детской карусели, а именно последовательность выполняющихся

действий. Фрагмент кода на языке ST представлен на рис. 3.

```

if BTN.mode_sel then
(*1 Автоматический режим*)
(*1.1 Этапы цикла*)
(*1.1.1 Звонок*)
  CMD.bell                               :=BTN.cycle_start;                (*Звонок перед стартом,удержанием кнопки старт цикл*)
(*1.1.2 Начало цикла*)
  F_TRIG_btn_cycle_start                 (CLK:=BTN.cycle_start);            (*Начало основного вращения с момента отпущания кнопки
  SR_cycle                               (SET1:=F_TRIG_btn_cycle_start.Q and not SR_cycle.Q1,RESET:=F_TRIG_descend.Q);
  LAMP.cycle_run                         :=SR_cycle.Q1;
(*1.1.3 Вальс*)
  TP_climb                               (IN:=F_TRIG_btn_cycle_start.Q,PT:=T#60s);
  climb                                  :=TP_climb.Q;
  F_TRIG_climb                           (CLK:=climb);                        (*Флаг Подъем*)
(*1.1.4 Полёт-Вращение в поднятом состоянии*)
  TP_cruise                              (IN:=F_TRIG_climb.Q,PT:=T#95s);
  cruise                                 :=TP_cruise.Q;
  F_TRIG_cruise                          (CLK:=cruise);
(*1.1.5 Приземление*)
  TP_descend                             (IN:=F_TRIG_cruise.Q,PT:=T#20s);
  descend                                :=TP_descend.Q;
  F_TRIG_descend                         (CLK:=TP_descend.Q);
(*1.1.6 Останов*)
  TP_landing                             (IN:=F_TRIG_landing.Q,PT:=T#5s);
  landing                                :=TP_landing.Q;
  F_TRIG_landing                         (CLK:=TP_landing.Q);
(*1.2 Исполнительные механизмы*)
  TON_delay_rotation                    (IN:=F_TRIG_btn_cycle_start.Q,PT:=T#2s);  (*Задержка вращения основного и кабинок 3 секунды*)
(*1.2.1 Основное вращение*)
  SR_main_rotation                      (SET1:=climb,RESET:=F_TRIG_descend.Q);
  CMD.main_rotation_motor_run           :=SR_main_rotation.Q1;

```

Рис. 3. Фрагмент программы на языке ST

Алгоритм работы шкафа управления следующий: после выбора автоматического режима нажимается кнопка пуска системы, срабатывает сигнализирующий звонок о начале работы, соленоидные клапаны начинают подъем кабинок на рабочую высоту. При достижении рабочей высоты срабатывают концевые выключатели соленоидных клапанов, сигнал с выключателей отправляется в контроллер. При получении сигнала стойки начинают вращаться. Вращение стоек возможно в двух режимах: детском с частотой 25 Гц и взрослом с частотой 35 Гц. В случае возникновения аварийной ситуации нажимается кнопка аварийного останова системы, после чего стойки экстренно останавливаются, а соленоидные клапаны опускают стойки, чтобы пассажиры смогли покинуть кабины. Спроектированная система обладает высокой надежностью и отвечает требованиям безопасности.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-72-74

С. П. Смольяков, В. Д. Жохов, В. Г. Барабанов

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В работе проведен анализ существующих систем позиционирования заготовок металлопроката и их систем управления. Разработана автоматическая система управления позиционирующем устройством на основе искусственной нейросети.

Ключевые слова: позиционирование, интерфейс, сляб, компьютерное зрение, идентификация, рольганг, вычислительный комплекс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контроллеры, системы ввода-вывода и устройства для сетевой инфраструктуры [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: https://www.mpkpo.ru/images/pdf/phoenix/8_automation/Phoenix_cat_8_2015.pdf (дата обращения: 21.01.20)
2. Энциклопедия АСУ ТП. Системы программирования на языках МЭК 61131-3 [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: https://www.bookasutp.ru/Chapter9_3.aspx (дата обращения: 21.01.20)
3. Examples of use for the PC Worx Control System [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads_ed/global/web_d/wl_app_sample/PC_WORX_examples_of_use_en.pdf (дата обращения: 21.01.20)
4. EasyPactTVS. Серия пускателей на токи от 6 до 630 А [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/60145-easypact-tvs/?filter=business-4-распределение-электроэнергии-низкого-напряжения&parent-category-id=1500&parent-subcategory-id=86334> (дата обращения: 21.01.20)

S. P. Smolyakov, V. D. Zhokhov, V. G. Barabanov

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC SYSTEM OF SHEET HIRE PREPARATIONS POSITIONING

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the existing positioning systems of metal billets and their control systems. An automatic control system for a positioning device based on an artificial neural network has been developed.

Keywords: positioning, interference, slab, computer vision, identification, roller table, computer complex.

В связи с ростом масштабов работ компьютеризации и комплексной автоматизации производства автоматизация управления технологическими процессами на промышленных предприятиях становится все более актуальной. Это привело к возможности появления систем, способных решать задачи автоматизации в различных областях промышленности. Применение таких систем позволяет устранить большинство проблем существующих решений [1].

В частности, использование системы автоматического позиционирования заготовки в металлпрокатном производстве позволяет увеличить качество продукции и снизить брак. Рассмотрим технологический процесс в цеху горячей прокатки. На производственной линии исходным продуктом для листового проката служат слябы. Затем из сталеплавильного цеха слитки поступают в обжимный цех, где их загружают в печи для нагрева до требуемой температуры и выравнивания температуры заготовки. Затем нагретые слитки помещают на рабочие ролики рольганга прокатного стана, где оператор ориентирует заготовку манипулятора или другого устройства перед прокатным станом. Далее подвергают прокатке в несколько проходов в рабочей клетке стана. После прокатки заготовки подают в машину огневой зачистки, в которой с помощью газовых горелок сжигается поверхностный слой на заготовке вместе с поверхностными трещинами. Следующей операцией является резка проката на прессножницах, при которой от слитка отрезаются головная и донная части, затем оставшаяся часть (тело слитка) передают на приемные стеллажи и далее направляют на охлаждение, режим которого зависит от марки стали [4; 6].

Для решения задачи автоматического позиционирования применяются искусственные нейронные сети в совокупности с компьютерным зрением. Система может сама определять местоположение заготовки и просчитывать регулирующие воздействие на заготовку. В на-

стоящее время наблюдается растущий интерес к технологиям и системам автоматической идентификации на основе технического зрения. Применение систем автоматизации на производстве позволяет исключить человеческую ошибку и повысить эффективность производства при этом снизить затраты, заменить человека в опасных, и вредных зонах производства. Внедрение системы автоматического позиционирования заготовки в цех горячей прокатки поможет увеличить производительность и качество продукции.

Наиболее распространенный тип транспортировки заготовки проката до прокатного стана на производстве – это рольганг. При всех его преимуществах он имеет один существенный недостаток, в процессе транспортировки происходит смещение заготовки от центра рольганга. Использование автоматической системы позиционирования позволяет добиться высокого качества и точности базирования заготовки, что в свою очередь положительно влияет на качество исходного продукта [5].

Отслеживание и контроль над заготовкой осуществляется камерой машинного зрения, камеры машинного зрения снимают изображения с высокими разрешением и числом бит на пиксель, и передают снятые кадры в цифровом виде без какого-либо сжатия данных, что положительно сказывается на быстродействии системы. Управление всеми параметрами съемки в таких камерах доступно по стандартному протоколу, обеспечение синхронизации съемки с внешними процессами и оборудованием, позволяет распознавать положение объекта в реальном времени и передать данные на сервер. Главная задача сервера – это инференс, непрерывный процесс исполнения предобученных нейронных сетей. Далее сервер передает данные на промышленный контроллер, который в свою очередь управляет роликовым конвейером и манипулятором. Схема автоматизированной системы позиционирования представлена на рисунке.

Измерение геометрических координат сляба, основано на использовании электронно-оптических методов контроля. Измерительная аппаратура и охлаждающая система размещаются на п-образной опоре над подающим рольгангом, в термокожухе. Видео аппаратура связывается с вычислительным комплексом по интерфейсу GigE [2; 7].

Определение положение объекта происхо-

дит с помощью камеры машинного зрения высокого разрешения с соответствующими светофильтрами. Система видеотракции устанавливается с учетом получения максимального поля зрения на рольганге без потери качества съемки, что позволяет получать данные о положении без искажения. Данные от камеры передаются в вычислительный комплекс по интерфейсу RS-485.

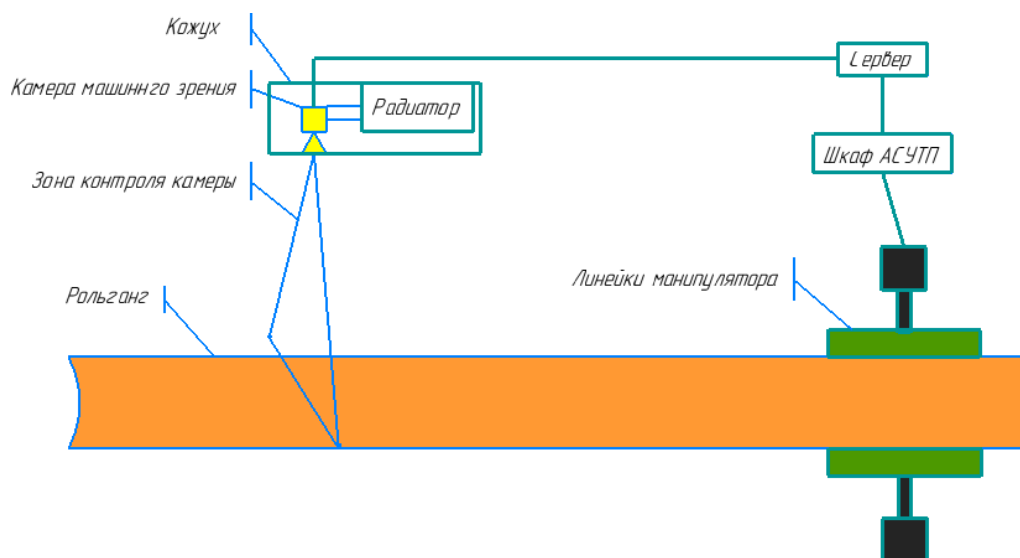


Схема системы АСУТП

Для поддержания оптимальной температуры, устройство установлено в термокожухе. Система терморегуляции использует жидкостное охлаждение, поэтому требуется периодическое обслуживание системы охлаждения. Вычислительный комплекс построен на основе промышленного компьютера производства. Сервер получает данные от измерительной аппаратуры, производит расчет параметров в реальном времени и передает результат расчета на промышленный контроллер, установленный в шкафу автоматизации. Шкаф автоматизации конструктивно представляет пыле влагозащищенный металлический ящик. В состав шкафа автоматизации входит такое оборудование, как: промышленный контроллер обеспечивающий выполнение команд вычислительного комплекса механической частью, система бесперебойного питания, клеммники для подключения внешних устройств, реле для управления электродвигателями и другое оборудование, тепловое реле, коммутатор для расширения входов выходов ПЛК и коммутатор [3].

В дальнейшем планируется автоматизировать линию проката полностью. Внедрение автоматической системы управления прокатным

станом и системы управления рольгангами холодильника позволят существенно повысить качество продукции и экономичность предприятия, за счет рационального управления приводами рольгангов и уменьшения количества брака.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селевцов, Л. И. Автоматизация технологических процессов : учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. И. Селевцов, А. Л. Селевцов. – Москва : издательский центр «Академия», 2011. – С. 230–352.
2. Калинин, М. Л. Монтаж приборов и систем автоматизации : учеб. пособие / М. Л. Калинин. – Москва : Академия, 2009. – С. 340–420.
3. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике / под ред. А. В. Калининченко. – Москва : Инфра - Инженерия, 2008. – С. 400–565.
4. Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавленного производства / В. П. Григорьев, Ю. М. Нечкин, А. В. Егоров [и др.]. – М. : МИСИС, 2005.
5. Проектирование сталеплавленных цехов. Основные принципы, технические решения и методика проектирования конвертерных цехов : метод. указ. к самостоятельной работе и дипломному проектированию / сост. В. Н. Литмин. – Магнитогорск : МГМИ, 2008. – С. 35–43.
6. Поволоцкий, Д. Я. Внепечная обработка стали / Д. Я. Поволоцкий, В. А. Кудрин, А. Ф. Вишкарёв. – М. : МИСИС, 2005. – С. 246–250.
7. Климовицкий, М. Д. Приборы автоматического контроля в металлургии / М. Д. Климовицкий, В. И. Шишкинский. – М. : Металлургия, 2014. – С. 250–296.

УДК 62-521

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-75-77

*П. А. Чемогинов, А. М. Макаров, Н. Г. Шаронов, А. В. Ивченко***ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ПАНЕЛИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Проводится разработка и исследование компьютерной модели фрагмента автоматизированной динамической реконфигурируемой панели. Исследуются напряжения, перемещения и деформации, возникающие при различных нагрузках. Результаты компьютерного исследования позволяют выбрать рациональную форму и конфигурацию панели, что приводит к повышению ее прочностных характеристик и снижению массы.

Ключевые слова: реконфигурируемая панель, связи, моделирование.

*P. A. Chemogonov, A. M. Makarov, N. G. Sharonov, A. V. Ivchenko***RESEARCH OF THE AUTOMATED DYNAMIC RECONFIGURABLE PANEL**

Volgograd State Technical University

A computer model of a fragment of an automated dynamic reconfigurable panel is being developed and researched. The stresses, displacements, and deformations arising at various loads are investigated. The results of computer research allow you to choose a rational shape and configuration of the panel, which leads to an increase in its strength characteristics and weight reduction.

Keywords: reconfigurable panel, bond, modeling.

В современном мире как при проектировании технически сложных объектов, так и для достаточно простых конструкций и механизмов все чаще используется модульный подход [1–3].

Модульный характер создаваемой конструкции позволяет изменять ее геометрические размеры путем модульного наращивания реконфигурируемой структуры [1; 4]. Подобный подход также позволяет изменять число интегрированных в структуру приводов, добиваясь рациональных решений в различных комбинациях унифицированных модулей.

Решение проблемы создания управляемых пространственных ячеистых конструкций для создания пространственных форм может быть основано на разработанных реконфигурируемых модульных панелях [5–6].

В основе предлагаемой модели конструкции реконфигурируемой модульной панели лежит мехатронный узел, который призван обеспечить заданный угол между элементами в структуре панели; согласованное управление геометрией панели; возможность изменения геометрии с учетом технологических требований. Различные варианты мехатронного узла рассмотрены и исследованы в [7–9].

В основе предлагаемых вариантов исследуе-

мых конструкций лежит использование реконфигурируемого сотоподобного заполнителя в совокупности с приводами, которые призваны обеспечить заданный угол согласованного изменения положения между элементами структуры.

Рассматривается определение рациональной формы и конфигурации реконфигурируемой динамической панели, которая позволит обеспечить необходимые прочностные характеристики при снижении массы готового изделия.

Для исследования было выполнено построение трехмерной модели сборки изделия в формате, необходимом для проведения компьютерного моделирования.

Объект исследования – сборка элементомехатронного узла автоматизированной динамической реконфигурируемой панели (рис. 1) с изменяемой геометрией (рис. 2). В составе сборки входят треугольные сегменты 1 и связи 2.

Соединение элементов модели произведено с помощью функции «сопряжение», в качестве базовых (неподвижных) компонентов заданы несущие треугольники 1, к ним жестко привяаны гибкие связи 2. Материалы составляющих сборки следующие. Пластиковым компонентам макета был назначен полимер акрил (для треугольников) и пластик PET (для гибких связей).

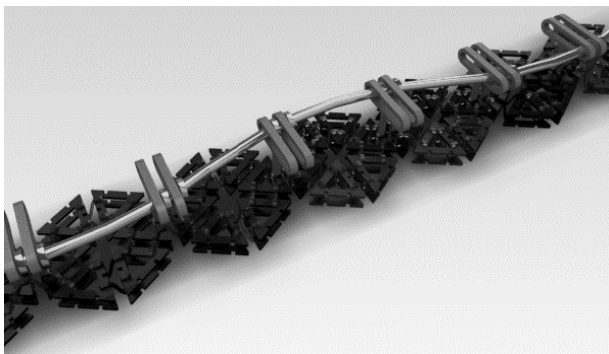


Рис. 1. Мехатронный узел автоматизированной динамической реконфигурируемой панели

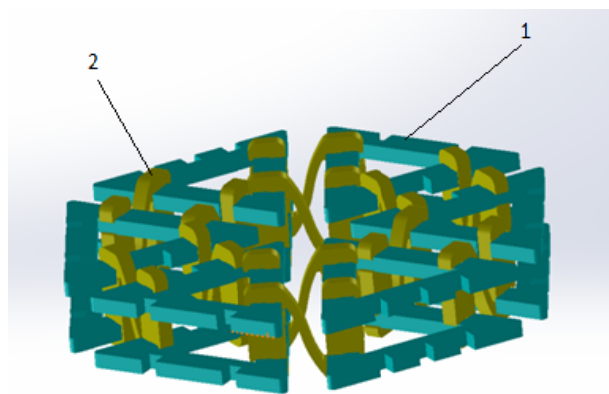


Рис. 2. Сборка элемента

Поскольку исследование напряжений, перемещений и деформаций производится посредством конечно-элементного анализа, была создана расчетная сетка (рис. 3).

К верхней поверхности элемента прикладывается распределенная нагрузка, имитирующая

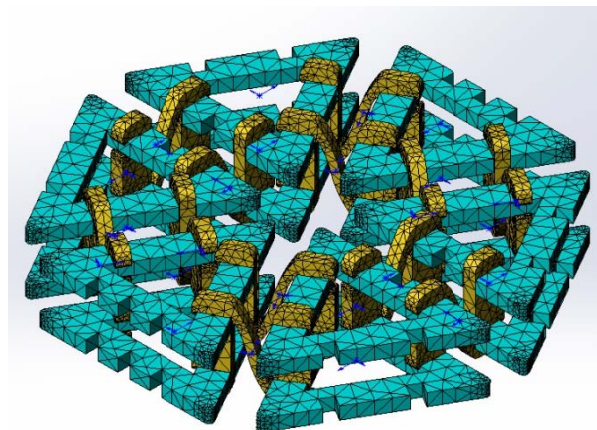


Рис. 3. Вид расчетной сетки

внешнюю нагрузку. Проведены различные исследования, определена максимально допустимая нагрузка. Учтено действие силы тяжести на объект.

Исследование конструкции под действием нагрузок проводилось с помощью инструмента SOLIDWORKSSimulation (COSMOSWorks).

Проведено статическое исследование модели. Например, к верхней поверхности механического узла (рис. 4) приложена распределенная нагрузка, эквивалентная 500 кг/м^2 .

На изображении рис. 3 видно, что в целом конструкция выдерживает приложенную нагрузку, однако есть места с повышенными внутренними напряжениями – это места изгиба гибких связей (на рисунке выделены зеленым цветом). Наиболее нагруженные участки выделены красным цветом.

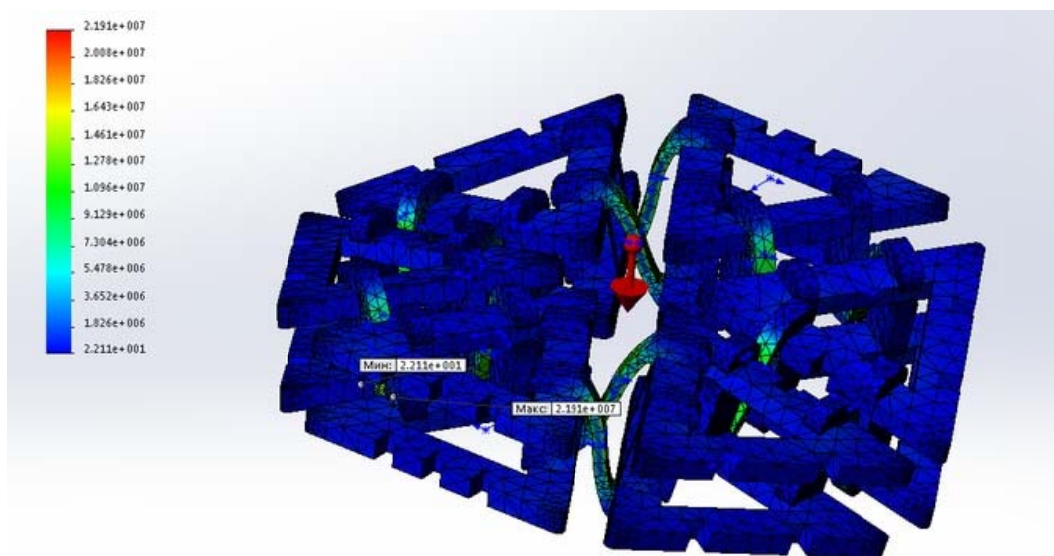


Рис. 4. Напряжения при нагрузке 500 кг/м^2

Эпюра перемещений представлена на рис. 5, согласно которой при максимальных отклонениях геометрии в точках, максимально удаленных от оси закрепления, максимальные напряжения на сгибах креплений достигают значе-

ния 21 МПа. При этом прогиб несущего профиля составил 3 мм. Максимальные напряжения на сгибах соединений достигали 46 Мпа при перемещениях до 5,9 мм.

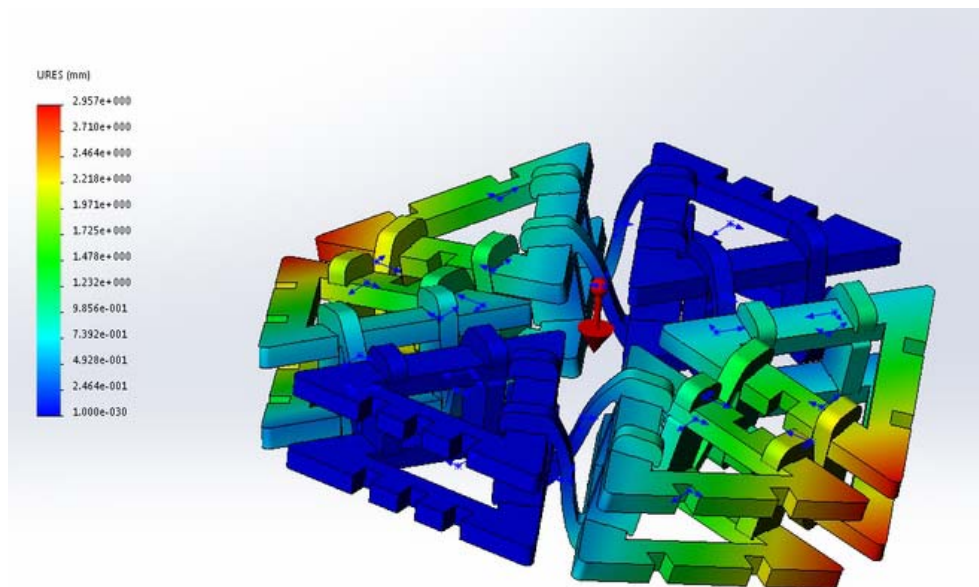


Рис. 5. Перемещения при нагрузке 500 кг/м²

При значительных нагрузках необходимо усилить гибкие связи или изменить их конструкцию, при этом несущий профиль имеет значительный запас прочности.

Результаты исследования могут быть использованы при создании модульных автоматизированных реконфигурируемых светодиодных панелей на основе каркаса с модулями в виде мехатронных узлов с деформируемыми связями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров, И. М. Многосвязные мехатронно-модульные роботы с адаптивной кинематической структурой / И. М. Макаров, В. М. Лохин, С. В. Манько и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. – №11. – 2006.
2. Лопота, А. В. Этапы и перспективы развития модульного принципа построения робототехнических систем / А. В. Лопота, Е. И. Юревич // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб. : Изд-во Политехнического ун-та. – 2013. – № 1(164). – С. 98–103.
3. О способах контактного соединения группы модульных роботов / А. Л. Ронжин, И. В. Ватаманюк, Л. А. Станкевич, Н. Е. Шляхов // Робототехника и техническая кибернетика. – № 3. – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2016. – С. 34–41.
4. Реконфигурируемый транспортный комплекс со двонными шагающими движителями / Е. С. Брискин и др. // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 24 (127) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Актуальные про-

блемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 19). – С. 10–15.

5. Ивченко, А. В. Мехатронный узел и каркас адаптивного крыла / А. В. Ивченко, Н. Г. Шаронов // Прогресс транспортных средств и систем – 2018. – Волгоград, 2018. – С. 176–177.

6. New conceptual design of the adaptive compliant aircraft wing frame / A.V. Ivchenko, N.G. Sharonov, R. Ziatdinov // Engineering Science and Technology, an International Journal. - 2019. - Vol. 22, Issue 5 (October). – P. 1149-1154. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.10.004>.

7. Моделирование взаимодействия элементов автоматизированных панелей с изменяемой пространственной формой / А. В. Ивченко, А. Ю. Горелова, Н. Г. Шаронов, А. М. Макаров // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (231) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 60–63.

8. Моделирование мехатронного узла реконфигурируемой модульной панели (Simulation of mechatronic unit of reconfigurable modular panel) / М. Ю. Ветлицын [и др.] // XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС–2019): сб. тр. конф. / РАН, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, РФФИ [и др.]. – Москва, 2020. – С. 578–580.

9. Разработка автоматизированного стенда для исследования адаптивной части крыла летательного аппарата / М. Ю. Ветлицын, А. В. Ивченко, Н. Г. Шаронов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 56–59.

УДК 004.932.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-78-81

*С. С. Шемелюнас, А. В. Омаров, А. В. Дроботов***АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА В FDM 3D ПРИНТЕРАХ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: sergey.shemelyunas@bk.ru

Проведен сравнительный анализ систем контроля подачи материала в FDM 3D принтерах, отмечены их преимущества и недостатки. Предложена конструкция, и описан принцип работы новой системы контроля подачи материала с улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: 3D принтер, контроль подачи, система контроля, автоматизация, 3D печать.

*S. S. Shemelyunas, A. V. Omarov, A. V. Drobotov***ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF CONTROL OF MATERIAL FEEDING IN FDM 3D PRINTERS****Volgograd State Technical University**

A comparative analysis of feed control systems in FDM 3D printers is carried out, their advantages and disadvantages are noted. The design is proposed and the principle of operation of a new material delivery control system with improved characteristics is described.

Keywords: 3D printer, feed control, control system, automation, 3D printing.

Аддитивные технологии очень быстро развиваются последнее время, позволяя производить широкую номенклатуру продукции с минимальными материальными затратами в сжатые сроки всего на одном станке – 3D принтере. В настоящее время 3D печать применяют уже не только для быстрого прототипирования, но и в единичном и мелкосерийном производстве [1].

Наиболее распространенной является FDM технология 3D печати в виду простоты и большого разнообразия материалов для печати.

Однако из-за новизны и несовершенства

аддитивных технологий, в процессе печати часто требуется участие человека, например при засоре печатающего сопла, что приводит к браку при печати и изделие выбрасывается. Для снижения количества брака и уменьшения вовлеченности человека в процесс печати в продвинутых моделях принтеров применяют системы контроля подачи материала.

Были проведены исследования, которые показали, что наиболее частая причина прекращения подачи материала – это отклонение диаметра пластика от своего номинального значения.

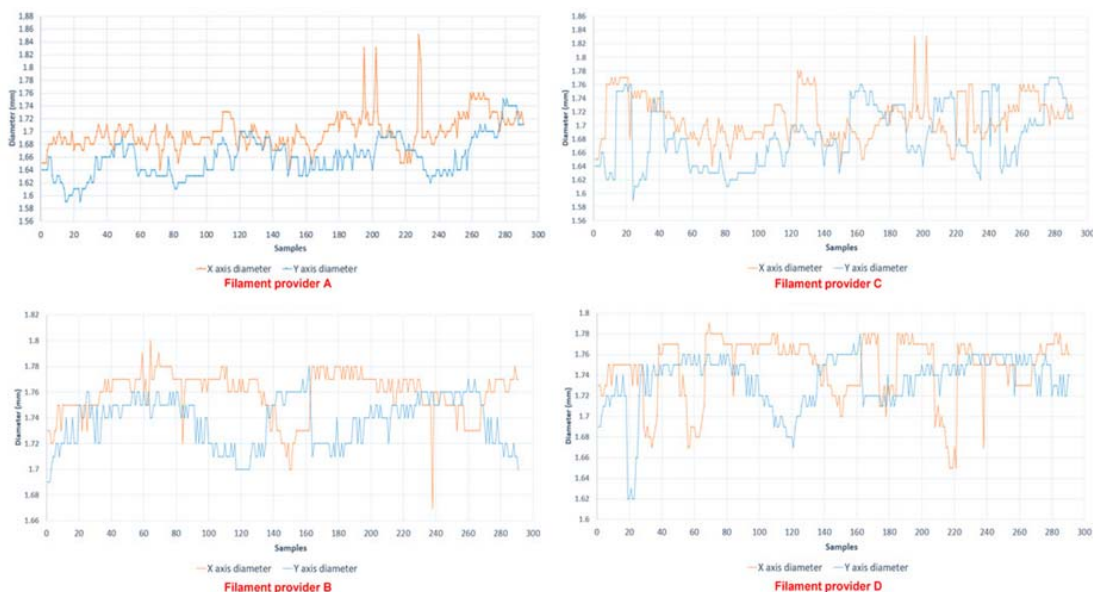


Рис. 1. Анализ среднего диаметра прутка пластика

Был произведен показанный на рис. 1 анализ диаметра пластика от 4 разных производителей, который показал, что диаметр варьируется от 1,56 до 1,85 мм. Это основная причина возникновения засора [2].

Для решения данной проблемы, необходима разработка системы, которая могла бы не только определять наличие пластика в экструдере и следить за его перемещением, но и динамически определять объем поданного пластика,

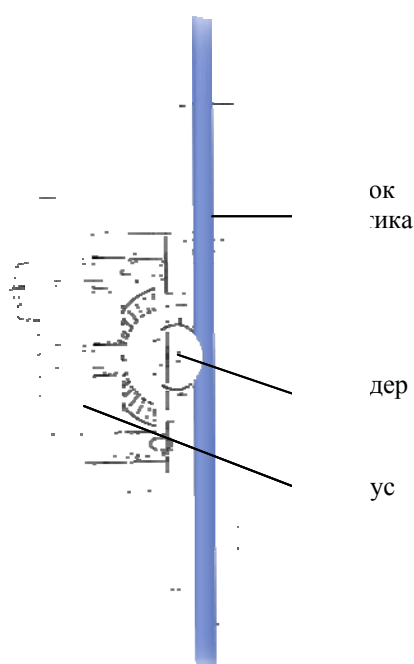


Рис. 2. Система Flow control

Другой вариант системы контроля подачи (рис. 3) включает механический датчик на основе тактовой кнопки. Такая система способна следить только за наличием пластика в экструдере, но не за его продвижением [4].

Система контроля на основе датчика Холла и подшипника показана на рис. 4. В ней при продвижении прутка пластика к экструдеру прутки вращают подшипник, а датчик Холла улавливает это движение и подает сигнал управляющей плате [5].

Датчик на основе оптического энкодера (рис. 5) позволяет следить за наличием пластика в экструдере и за его продвижением. Он обладает более высокой точностью по сравнению с системой Flow control [6].

сравнивать его с номинальным и корректировать процесс печати.

Были рассмотрены существующие на данный момент системы контроля подачи пластика. В показанной на рис. 2 системе Flow control компании PICASSO, примененная в 3D принтере DESIGN X PRO, за основу взят энкодер, который следит за продвижением пластика в экструдере и при отсутствии сигнала способен уведомить пользователя об этом [3].

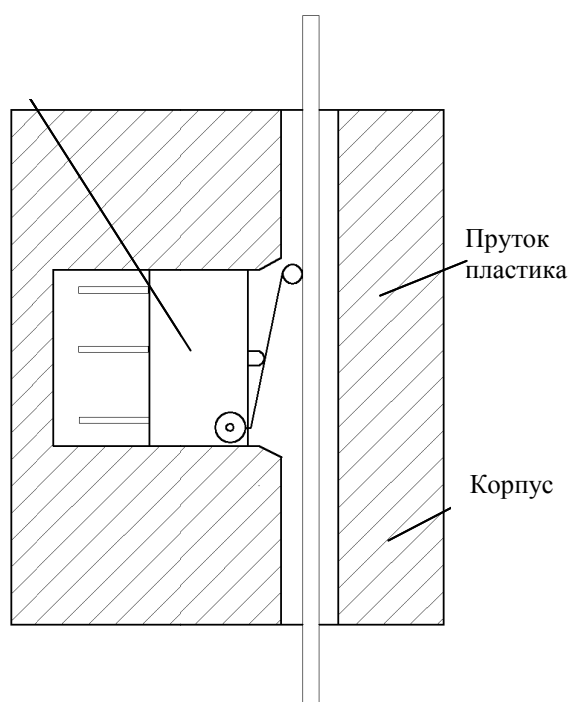


Рис. 3. Система контроля на основе тактовой кнопки

Сопоставление возможностей рассмотренных выше систем показано в таблице.

Известные системы позволяют определять наличие пластика в экструдере или следить за его продвижением. Но ни одна из них не способна определять средний диаметр прутка и объем подаваемого пластика.

Для создания нового устройства было предложено использовать оптический сенсор, подключенный по интерфейсу PS/2. Такой сенсор получает оптическую картинку низкого разрешения, что позволит определять диаметр пластика и следить за его продвижением. 3D модель такого датчика и примерная картина с сенсора представлена на рис. 6.

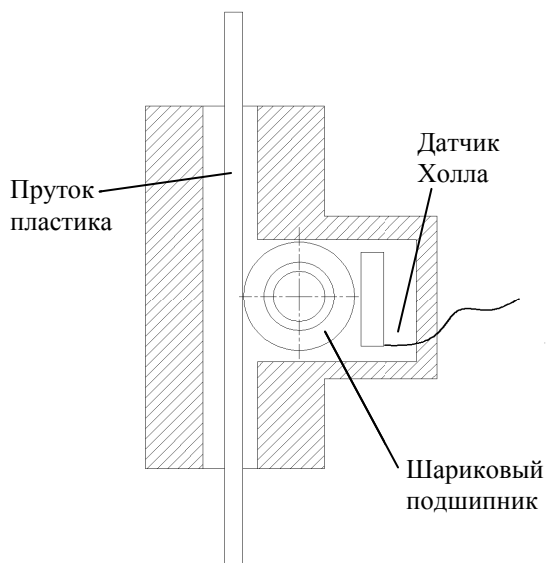


Рис. 4. Система контроля на основе датчика Холла

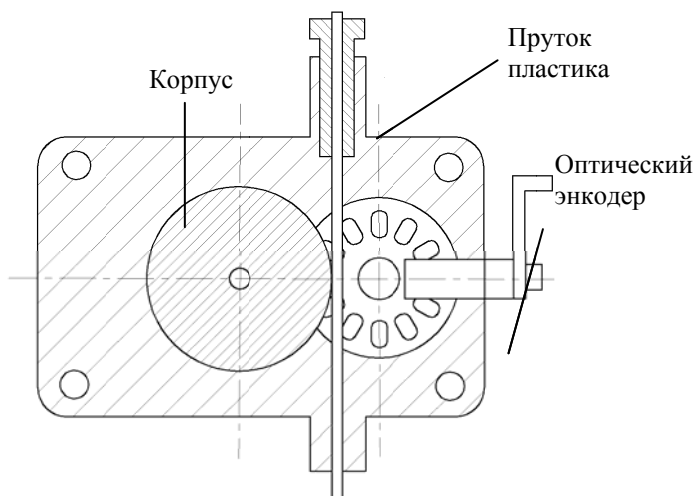


Рис. 5. Датчик на основе оптического энкодера

Сравнительный анализ систем контроля подачи пластика в 3D принтерах

Возможности систем	Поворотный энкодер	Механический датчик	Оптический энкодер	Датчик Холла
Обнаружение прутка пластика	✓	✓	✓	✓
Обнаружение продвижения прутка пластика	✓	×	✓	✓
Возможность работы со всеми типами пластиков	✓	✓	×	✓
Чувствительность к пыли и грязи	✓	×	✓	✓
Возможность определения скорости подачи пластика	×	×	✓	×
Создание сопротивления нормальному движению пластика	✓	✓	×	✓
Возможность работы с пластиком большего диаметра	×	×	✓	×

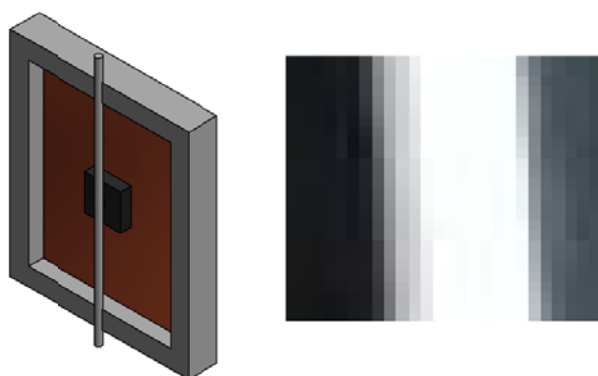


Рис. 6. Датчик на основе оптического сенсора и примерное изображение, получаемое с сенсора

Система должна функционировать следующим образом: прутки пластика с эталонным диаметром равным 1,75 мм сканируются системой и получается определенное количество изменяющихся точек. По ним система сможет

динамически определять средний диаметр подаваемого пластика сравнивая текущее изображение с эталонным. Зная средний диаметр и скорость подачи можно определить реальный подаваемый объем пластика.

Произведенный анализ существующих систем контроля подачи материала выявил недостатки и достоинства каждой из систем. На основе полученного опыта предложена разработка новой системы, которая будет совмещать в себе достоинства и нивелировать недостатки существующих систем. Примененный в ней оптический датчик способен динамически следить за наличием материала и продвижением прутка пластика, а также определять объем подаваемого пластика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Швец, А. А. Сравнительный анализ устройств для объемной печати / А. А. Швец, А. Р. Авдеев, А. В. Дроботов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (156) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 76–79.

2. Шемелюнас, С. С. Анализ и совершенствование систем контроля подачи материала в FDM 3D принтерах / С. С. Шемелюнас, А. В. Дроботов // XXIV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Волгоград, 3–6 декабря 2019 г. : сб. матер. конф. / ВолгГТУ ; редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград, 2020. – 424 с.

3. Официальный сайт PICASO 3D Designer X [Электронный ресурс] – URL : <https://picaso-3d.com/ru/products/printers/designer-x/> (дата обращения : 20.07.2019)

4. Датчик автоматической остановки 3D принтера по окончании филамента [Электронный ресурс] – URL: http://www.copies.ru/3d-autostop_01 (дата обращения : 19.07.2019)

5. Датчик окончания филамента на Октопринте [Электронный ресурс] – URL : <https://3dtoday.ru/blogs/andrewstick/the-sensor-end-of-the-filament-on-oktoprint/#> (дата обращения : 20.07.2019)

6. Volumetric Feed Control for Flexible Filament: пат. 6058957А Соединенные Штаты Америки: МПК В65Н 20/00, В23Q 15/00, Zinniel, R.L.; Batchelder, J.S.; заявитель и патентообладатель Stratasys, Inc., Eden Prairie, Minn.; заявл. 10.04.2000; опубл. 11.06.2000. – 9 с.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-81-83

А. А. Шмелева, В. Г. Барабанов, Е. Г. Крылов, Н. В. Козловцева

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНЫХ ПРОТОКОЛОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Shmeleva.a.anata@yandex.ru

Разработана и исследована схема организации сети на основе беспроводных протоколов передачи данных. Были сопоставлены и проанализированы другие способы построения беспроводных сетей для предприятий.

Ключевые слова: беспроводные протоколы, беспроводные сети, LoRa, радиомодули, автоматизация.

A. A. Shmeleva, V. G. Barabanov, E. G. Krylov, N. V. Kozlovtsseva

NETWORK ORGANIZATION SCHEMES BASED ON WIRELESS PROTOCOLS

Volgograd State Technical University

The scheme of network organization was developed and studied on the basis of wireless data transfer protocols. Other ways of building wireless networks for plants were compared and analyzed.

Keywords: wireless protocols, wireless networks, LoRa, radio modules, automation.

Существуют различные способы организации сетей на предприятиях. Структура сети зависит от способа разделения сети на части, а также способа соединения этих сегментов между собой с помощью коммутаторов, датчиков и другого оборудования. В настоящее время на большинстве предприятий соединение сегментов осуществляется с помощью прокладки кабеля, однако это имеет ряд недостатков. Актуальной проблемой является ограниченность возможности прокладки кабеля, обу-

словленная высокой трудоемкостью при больших объемах сети и существенной удаленности объектов.

Первоначальной структурой организации сети являлись локальные сети, однако с увеличением количества оборудования, оснащенного датчиками и увеличением площадей предприятий, на которых осуществляется автоматизированный контроль за производственными процессами, а так же усложнением алгоритмов работы программного обеспечения более эф-

фективным становится применение распределенных систем. Их структура состоит из удаленных на существенные расстояния контроллеров и блоков ввода/вывода. При такой структуре система управления становится более близкой по своей организации к управляемому объекту, а функции обработки и сбора данных, а также вычислительные функции отказываются распределенными между множеством контроллеров. Контроллер работает только со своей группой устройств ввода/вывода и обслуживает определенную часть объекта управления [1].

Распределенная система управления – это система, состоящая из множества независимых устройств, находящихся в отдаленном пространстве, каждое из которых действует независимо от остальных, однако взаимодействует с ними для выполнения одной задачи. Такие устройства могут располагаться как в пределах одного большого предприятия, а могут быть распределены по всему городу, стране или даже на различных континентах [1]. При этом

стараяются минимизировать обмен информацией между контроллерами, что дает им большую распределенность и следующие из этого преимущества, такие как:

- 1) высокое быстродействие, благодаря параллельно работающим процессорам и распределению задач между ними;
- 2) устойчивость к сбоям;
- 3) более простые методы наращивания компонентов;
- 4) высокая надежность благодаря тому, что отказ одного контроллера не влияет на работу остальных.

Рассмотрим способ организации сети с помощью «Промышленного интернета вещей» (Industrial Internet of Things, IIoT). Этот термин применяется взамен АСУ ТП и является производным от термина «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) [2].

Сравнительная таблица оценки беспроводных сетей связи с объектом представлена в таблице [3; 4; 5].

Сравнительная таблица оценки беспроводных сетей связи с объектом

Критерии	Wi-Fi (IEEE 802.11)	WiMAX (IEEE 802.16)	BLE	NB-IoT	LoRa
Область применения	Внутри зданий	Вне зданий	Внутри зданий	Вне зданий	Не ограничена
Радиус действия	100 м	7–10 км	100 м	500 м	90 км
Энергопотребление	Высокое	Высокое	Низкое	Низкое	Низкое
Количество поддерживаемых устройств	3–5 непересекающихся каналов	Множество непересекающихся каналов	79 каналов	Множество непересекающихся каналов	Множество непересекающихся каналов
Полоса пропускания	Фиксированная полоса пропускания канала (20МГц)	Гибкая полоса пропускания (1.5 - 20 МГц)	2 МГц	180 (200) кГц приемника	125 кГц, 250 кГц и 500 кГц
Максимальная скорость передачи данных	54Мбит/с	70Мбит/с	1 Мбит/с	50 Кб/с	60 Кб/с
Класс мощности	25 дБм	23 дБм	20 дБм	23 дБм	33 дБм
Частотный диапазон	2,4 ГГц и 5 ГГц	2,3–2,7 ГГц, 3,5 ГГц	2,4 ГГц	800/900/1800 МГц	864–869 МГц

На основании данных таблицы взята за основу система, основанная на радиоканале LoRa. Важной особенностью технологии LoRa является высокая помехоустойчивость, которая необходима в условиях работы на массовом производстве в сложных условиях (33 дБм), а также большой радиус действия и низкое энергопотребление. Для подавления радиоканала необходим либо мощный широкополосный сигнал, либо специальные системы радиопо-

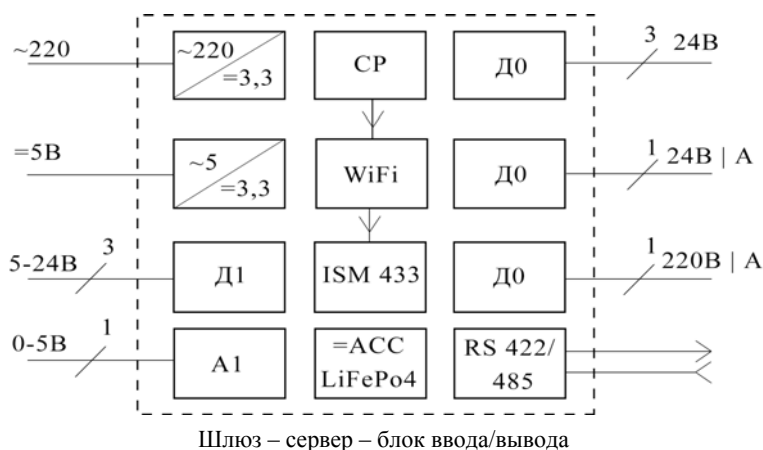
давления, использующие псевдошумовые последовательности, аналогичные LoRa. Однако стоит отметить, что LoRa имеет самую низкую скорость передачи данных, но это не создает проблем для использования ее в промышленном интернете вещей, так как объемы передачи данных очень малы [6].

В схеме используются датчики расхода энергоносителей с импульсным входом, сумматор (Кунер 100), удаленное включение нагрузки

осуществляется с помощью Кунер 100, а удаленное включение запорной арматуры с помощью Кунер 105.

Шлюз – сервер – блок ввода/вывода представлены на рисунке. К блоку подключается напряжение питания 220 В и 5 В и с помощью понижающего трансформатора преобразуется

в 3.3 В. Центральный процессор (CP) передает данные через Wi-Fi на радиомодуль ISM433. В качестве резервного питания используется литий-железо-фосфатный LiFePo4 аккумулятор, а обмен данными проводится через интерфейс RS-422/485. Остальные каналы используются для прямого подключения аппаратных средств.



Основным преимуществом данной методики является обеспечение мобильности рабочих станций, расширение возможности организации глобальных сетей и устранение необходимости кабельной системы.

Применение описанной схемы организации сети позволит снизить материальные и трудовые затраты на обеспечение работы внутри цеха предприятия, а также расширить возможности управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энциклопедия АСУ ТП [Электронный ресурс]. – URL: https://www.bookasutp.ru/Chapter1_1_3.aspx – Рас-

пределенные системы автоматизации. – (Дата обращения: 01.02.2020)

2. Интернет вещей : учеб. пособие / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. – Самара : ПГУТИ, 2015. – 200 с.

3. Википедия. NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) [Электронный ресурс] // https://ru.wikipedia.org/wiki/NB_IoT (дата обращения: 01.02.2020)

4. Разработка IoT устройств с использованием Bluetooth LE [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/post/394757/> (дата обращения: 01.02.2020)

5. Сравниваем WiFi и WiMAX [Электронный ресурс] // <http://femtosota.blogspot.com/2010/05/wifi-wimax.html> (дата обращения: 01.02.2020)

6. LoRaWAN и NB-IoT: соперники или соратники? [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/post/472028/> (дата обращения: 01.02.2020)

УДК 621.438.001.57

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-8-243-83-86

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

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: уаа_777@mail.ru, posvetlana@mail.ru

Разработана логико-математическая модель для представления физических принципов действия технических систем с жидким и газообразным рабочим телом. Приведен пример моделирования газотурбинной двухвальной установки. Предложены способы эвристической модификации для разработки улучшенных моделей физического принципа действия.

Ключевые слова: физический принцип действия; модель физического принципа действия; рабочее тело; техническая система; функция элемента; эвристический прием; технология разработки технической системы.

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

**DEVELOPMENT OF TECHNICAL SYSTEMS
BASED ON HEURISTIC MODELING
OF THE PHYSICAL OPERATION PRINCIPLE**

Volgograd State Technical University

A logical-mathematical model has been developed to represent the physical principles of the operation of technical systems with a fluid and gas working body. Example of modeling a gas turbine twin-shaft installation. Heuristic modification methods for developing improved models of the physical principle of action are proposed.

Keywords: physical operation principle; model of the physical principle of action; working body; technical system; element function; heuristic technique; technology development technical system.

Особенностью научно-технического прогресса в области создания новых технических систем (ТС) в промышленности является опережение меры сложности создаваемых изделий по сравнению с методами и технологиями их проектирования.

Наиболее остро эта проблема проявляется на начальных этапах проектирования – этапах технического предложения и эскизного проекта, когда принимаются основополагающие решения о принципе действия, структуре и компонентном составе проектируемого изделия, проводится всесторонняя оценка всех возможных вариантов его создания, а также осуществляется комплексная разработка всего изделия в общих и наиболее важных чертах.

Поставленная проблема в полной мере касается начальных этапов проектирования ТС с жидким и газообразным рабочим телом.

В связи с этим, формализация разработки ТС с жидким и газообразным рабочим телом с помощью использования новых методов инженерного анализа и технологий проектирования, позволяющих в дальнейшем разрабатывать соответствующее программное обеспечение для компьютерной поддержки этапов технического предложения и эскизного проекта, является актуальной задачей.

Большинство из современных методов проектирования основано на использовании моделей ФПД, отражающих физические процессы в проектируемой системе [1]. Анализ показал, что существующие методы являются узкоспециализированными и направлены на частные предметные области. Они учитывают характерную для каждой области техники специфику и особенности, и позволяют инженерам получить передовые технические решения. Однако их теоретические положения не могут быть использованы для получения общих методических рекомендаций для проектирования ТС, что требуется для разработки универсальных автоматизированных систем поддержки принятия реше-

ний на начальных этапах проектирования.

В рамках исследования был проведен анализ взятой за прототип модели ФПД инженерно-физического метода, основанной на понятийном аппарате теории сложных термодинамических систем. Данная модель подробно описана в работе [2] и, как показал анализ, в наибольшей степени соответствует математическому и дескриптивному описанию процессов, осуществляемых в большинстве ТС. В ней отражены перемещения рабочего тела внутри устройства, предусмотрена возможность указания очередности взаимодействий и перемещений рабочего тела, а также особенности конструктивной организации проектируемого изделия. Кроме того, учитываются следующие признаки: агрегатное состояние рабочего тела (жидкое, газообразное, комбинация жидкости и газа); наличие фазового перехода для рабочего тела в двух фазовых состояниях; замкнутость или разомкнутость маршрута рабочего тела; стационарность физических процессов.

В качестве примера для моделирования ФПД на рис. 1 показана схема газотурбинной двухвальной установки, а на рис. 2 представлен ее граф модели ФПД, который отражает процесс взаимного преобразования энергии.

Вершины графа ФПД помечаются латинской буквой v , с верхним и нижним индексами. Индексы обозначают состояние рабочего тела и порядковый номер характерной точки соответственно: v_1^1 – воздух в компрессоре низкого давления; v_2^2 – воздух в воздухоохладителе; v_3^3 – воздух в компрессоре высокого давления; v_4^4 – воздух в регенераторе; v_5^5, v_5^6 – топливо-воздушная смесь и продукты сгорания в камере сгорания высокого давления; v_6^7 – рабочее тело в турбине высокого давления; v_7^8, v_7^9 – топливо-воздушная смесь и продукты сгорания в камере сгорания низкого давления; v_8^{10} – рабочее тело в турбине низкого давления; v_9^{11} – выхлопные газы в регенераторе; v_{10}^{12}, v_{11}^{13} – топливо в топливных насосах.

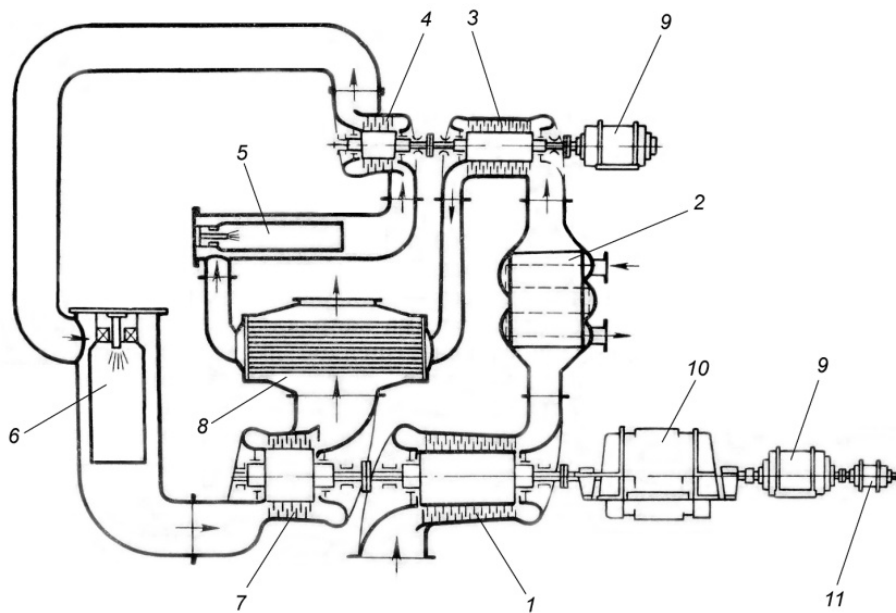


Рис. 1. Схема газотурбинной двухвальной установки:

1 – компрессор низкого давления; 2 – воздухоохладитель; 3 – компрессор высокого давления; 4 – турбина высокого давления; 5 – камера сгорания высокого давления; 6 – камера сгорания низкого давления; 7 – турбина низкого давления; 8 – регенератор; 9 – генератор; 10 – редуктор; 11 – пусковой мотор

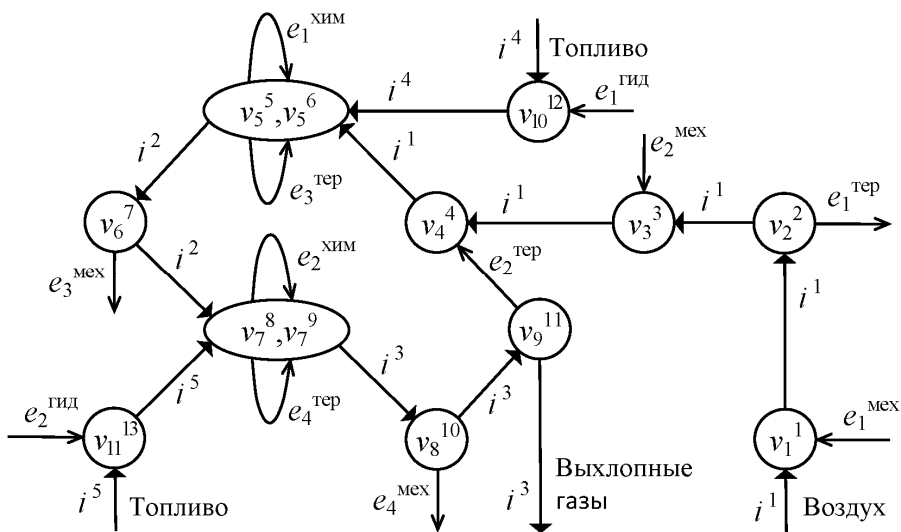


Рис. 2. Граф модели ФПД газотурбинной двухвальной установки

Дуги, обозначающие взаимодействия, помечаются латинской буквой e , также имеющей верхний и нижний индексы. Верхний индекс обозначает род взаимодействия, нижний – порядковый номер взаимодействия.

Маршрутные дуги показывают потоки (перемещения) рабочего тела и помечаются буквой i . Верхний индекс обозначает различные фазовые состояния или химический состав компонентов рабочего тела, нижний индекс – порядковый номер потока рабочего тела.

Целью построения моделей ФПД является получение новых, более эффективных технических решений ТС. В связи с этим важной задачей является разработка механизмов модификации этих моделей, то есть сформулировать рациональные операции над ними.

Анализ фондов эвристических приемов [3] показывает, что для модификаций моделей ФПД содержащиеся в них приемы следует классифицировать в соответствии с пространством переменных и множеством операций, ко-

торые характеризуют эту модель. Для этого необходимо провести сопоставление эвристических приемов с математическими операциями над графами и классифицировать эвристические приемы в соответствии с этими операциями. Кроме того, представляется целесообразным изменить формулировку части эвристических приемов с целью их более удобного использования для преобразования топологии графов ФПД.

Модификация модели путем добавления ребра. Добавление ребра e в граф $G_1(V_1, E_1)$ (обозначение – $G_1(V_1, E_1) + e$, при условии $e \notin E_1$) дает граф $G_2(V_2, E_2)$, где

$$V_2 := V_1 \ \& \ E_2 := E_1 \cup \{e\}.$$

Примерами таких операций над графом модели ФПД являются следующие эвристические приемы: отделить вредные или нежелательные примеси от вещества; разделить движущийся поток на два или несколько; соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты и др.

Модификация модели путем удаления ребра. Удаление ребра e из графа $G_1(V_1, E_1)$ (обозначение – $G_1(V_1, E_1) - e$, при условии $e \in E_1$) дает граф $G_2(V_2, E_2)$, где

$$V_2 := V_1 \ \& \ E_2 := E_1 \setminus \{e\}.$$

Такая операция над графом ФПД осуществляется использованием следующих эвристических приемов: исключить взаимодействие при сохранении объектом всех прежних функций; исключить канал перемещения рабочего тела при сохранении объектом всех прежних функций; вывести элементы, подверженные действию вредных факторов, за пределы их действия и др.

Модификация модели путем добавления вершин. Добавление вершины v в граф $G_1(V_1, E_1)$ (обозначение – $G_1(V_1, E_1) + v$, при условии $v \notin V_1$) дает граф $G_2(V_2, E_2)$, где

$$V_2 := V_1 \cup \{v\} \ \& \ E_2 := E_1.$$

Такая операция над графом осуществляется при использовании следующих эвристических приемов: присоединить к объекту новый элемент, находящейся в рабочей среде или в контакте с ней; добавить механическое, электрическое, тепловое, электромагнитное, химическое взаимодействия, а также других эвристических приемов.

Модификация модели путем удаления вершин. Удаление вершины v из графа $G_1(V_1, E_1)$

(обозначение – $G_1(V_1, E_1) - v$, при условии $v \in V_1$) дает граф $G_2(V_2, E_2)$, где

$$V_2 := V_1 \setminus \{v\} \ \& \ E_2 := E_1 \setminus \{e = (v_1, v_2) \mid v_1 = v \vee v_2 = v\}.$$

Такая операция осуществляется при использовании следующих эвристических приемов: Исключить наиболее напряженный (нагруженный) элемент. Исключить элемент при сохранении объектом всех прежних функций. Убрать «лишние детали», чтобы один элемент выполнял несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах и т. п.

Методика эвристической модификации моделей ФПД была успешно использована для получения новых способов и технических решений систем для охлаждения инструмента на различных металлорежущих станках [4–6] и может быть рекомендована и для других классов ТС с жидким и газообразным рабочим телом.

В результате проведенного исследования разработана новая логико-математическая модель для представления физических принципов действия технических систем с жидким и газообразным рабочим телом.

Разработанная модель ФПД позволяет: опделить функции элементов проектируемой системы; получить некоторое множество вариантов конструктивной реализации будущего изделия; выбрать лучшие варианты с помощью ЭВМ по заданным показателям качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nam, G. Conceptual design of passive containment cooling system for APR-1400 using multipod heat pipe / G. Nam, J. Park, S. Kim // Nuclear Technology. – 2015. – Vol. 189. – № 3. – P. 278–293.
2. Яковлев, А. А. Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии : монография / А. А. Яковлев. – М., 2007. – 127 с.
3. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / под ред. А. И. Половинкина. – М. : Радио и связь, 1981. – 344 с.
4. Яковлев, А. А. Разработка технического решения устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка методом поискового конструирования / А. А. Яковлев, Е. Г. Крылов, В. С. Сорокин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 3 (696).
5. Пат. 2367556 РФ, МПК В 23 Q 11/10. Способ подачи смазочно-охлаждающих технологических средств / А. А. Яковлев, В. М. Труханов, Е. В. Яковлева ; ВолгГТУ. – 2009.
6. П. м. 154326 РФ, МПК В23Q11/10. Устройство для подачи смазочно-охлаждающего технологического средства / А. А. Яковлев, С. Н. Мишустина, В. С. Сорокин, О. А. Мишустин ; ВолгГТУ. – 2015.

Ответственный за выпуск редактор РИО
Н. Н. Кваша

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

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

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

Темплан 2020 г. Поз. № 3ж. Дата выхода в свет 28.08.2020 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,12. Уч.-изд. л. 9,96.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 386.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО издательства ВолГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии издательства ВолГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

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

К публикации допускается не более двух статей автора в выпуске.

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

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

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

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

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

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

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

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

Объем статьи не должен превышать семь страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной-двух статьях.

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