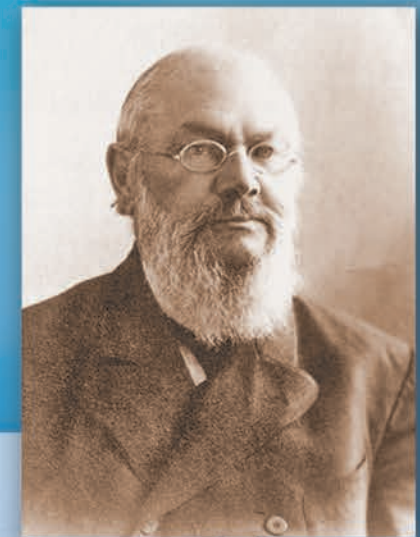


ВЕСТНИК

КУРГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 (45) 2017

Серия
«Технические науки»
ВЫПУСК 12



ВЕСТНИК

*КУРГАНСКОГО № 2 (45)
ГОСУДАРСТВЕННОГО 2017
УНИВЕРСИТЕТА*

СЕРИЯ

«ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

Выпуск 12

В выпуске опубликованы материалы, представленные на Международную научно-техническую конференцию «Машиностроение – основа научно-технического прогресса современного общества», посвященную 140-летию Сергея Александровича Балакшина, организатора и создателя первого машиностроительного предприятия в Зауралье и Сибири.

Редакционная коллегия:

канд. юрид. наук **К.Г. Прокофьев** – главный редактор журнала
д-р техн. наук, проф. **В.И. Курдюков** – ответственный редактор серии
д-р техн. наук, проф. **А.А. Благодоров**
д-р техн. наук, проф. **В.Б. Держанский**
д-р техн. наук, доц. **Г.Ю. Волков**

УДК 62
ББК 30
В 38

Вестник Курганского государственного университета. – Серия «Технические науки». – Вып. 12. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2017. – 134 с.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ТУ 45-00016 от 3 декабря 2008 года, выдано Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций по Курганской области.

Учредитель журнала *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганский государственный университет»*

Подписной индекс в Каталоге Роспечати «Газеты. Журналы» Агентства ООО «МАП» – 10994.

Научный периодический журнал «Вестник Курганского государственного университета» включен в международную базу данных «Ulrich's Periodicals Directory», в электронную библиотечную систему «Лань».

Главный редактор журнала: *кандидат юридических наук К.Г. Прокофьев*

Ред. коллегия: *В.И. Курдюков – д-р техн. наук, профессор
Г.Ю. Волков – д-р техн. наук, доцент
В.Б. Держанский – д-р техн. наук, профессор
А.А. Благодоров – д-р техн. наук, профессор*

Адрес редакции: 640020, Курганская область, г. Курган, ул. Советская, д. 63, каб. 505

Телефон/факс: 8(3522) 654986

Электронная почта: vestnik@kgsu.ru

Отв. редактор серии: *В.И. Курдюков*

Директор БИЦ КГУ: *Т.В. Агафонова*

Изготовление оригинал-макета и корректура: Библиотечно-издательский центр КГУ

ISSN 2222-3347

© Курганский
государственный
университет, 2017
© Авторы, 2017

МАШИНОСТРОЕНИЕ ЗАУРАЛЬЯ В ЛИЦАХ. БАЛАКШИНЫ

140-летию Сергея Александровича Балакшина, организатора и создателя первого машиностроительного предприятия в Зауралье и Сибири, посвящается

УДК 62

В.А. Бубнов

Курганский государственный университет

БАЛАКШИНЫ И НАЧАЛО МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЗАУРАЛЬЕ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Аннотация. Статья посвящена Сергею Александровичу Балакшину и началу развития машиностроения в Зауралье и Западной Сибири. Показан его жизненный путь и его деятельность в машиностроении, гидроэнергетике, подготовке инженерных кадров в Западной Сибири.

Ключевые слова: Балакшины, Зауралье, машиностроение, гидравлические турбины, мельницы, водные силы Сибири.

V.A. Bubnov

Kurgan State University

THE BALAKSHINS AND THE BEGINNING OF ENGINEERING IN TRANSE-URALS AND WESTERN SIBERIA

Annotation. The article is devoted to Sergei Alexandrovich Balakshin and his contribution to the beginning of engineering development in Trans-Urals and Western Siberia. His life and work in engineering, hydropower industry and training of engineers are shown.

Keywords: The Balakshins, Trans-Urals, engineering, water turbines, windmills, Siberian water powers.

В 2000 году машиностроение Зауралья отметило свой вековой юбилей. В 2017 году исполняется 140 лет со дня рождения организатора первого машиностроительного завода в Зауралье и Западной Сибири Сергея Александровича Балакшина. Машиностроение наше началось с организации в 1900 году небольшой механической мастерской в д. Логовушка Курганского уезда при крахмало-паточном заводе А.П. Ванюкова и А.Н. Балакшина. Организатором этой мастерской стал сын А.Н. Балакшина – Сергей Александрович, закончивший в 1899 году Шарлоттенбургский политехнический институт в Берлине. Эта механиче-

ская мастерская в Логовушке впоследствии даст жизнь двум курганским заводам: Курганскому заводу сельскохозяйственного машиностроения (Кургансельмаш) и Курганскому заводу колесных тягачей (КЗКТ).

Балакшины

Сергей Александрович Балакшин родился 22 апреля 1877 года в д. Логовушка Курганского уезда Тобольской губернии. Родители, воспитывая своего сына, с детства прививали ему трудолюбие, честность, интерес ко всему новому, любовь к Родине. По словам Елизаветы Михайловны, матери С.А. Балакшина, «Сережа был впечатлительный, наблюдательный и трудолюбивый мальчик. Я никогда не слыхала от него вечного вопроса ребят «Что я буду делать?» Он всегда находил себе занятие сам».

Балакшины из поколения в поколение были прогрессивными людьми своего времени. Дед Сергея Александровича Николай Яковлевич Балакшин, проживая в Тюмени, Тобольске и Ялуторовске, знал декабристов М.А. Фонвизина, С.М. Семенова, И.Д. Якупнсина, М.И. Муравьева-Апостола, В.К. Тизенгаузена и др., живших на поселении в Ялуторовске. Знакомился с декабристами Николай Яковлевич не из простого любопытства: общаясь с ними, он понял, что может многому научиться у этих особенных людей и в то же время как-то облегчить им нелегкую жизнь. Декабристы видели в Н.Я. Балакшине умного, доброго, внимательного и деятельного человека и прониклись к нему уважением.

Позже, в 1843 г. в Ялуторовск были переведены ссыльные И.И. Пущин и Е.П. Оболенский, а в 1846 г. – Н.В. Басаргин, которые также сблизились с Н.Я. Балакшиным. Когда у И.Д. Якушина появилась мысль о создании школы, Н.Я. Балакшин живо откликнулся и принял активное участие в ее реализации. И так как декабристам не разрешалась какая-либо общественная деятельность, то Николай Яковлевич сам выхлопотал разрешение на постройку школы. Немало сил он вложил и в строительство единственной в то время в Сибири школы для девочек.

Между Н.Я. Балакшиным и декабристами установились теплые, дружеские отношения. Впоследствии по возвращении из ссылки декабристы продолжали сохранять связь с сибиряками и в частности с семьей Н.Я. Балакшина, посылая письма, деньги на поддержание деятельности организованных ими школ.

26 декабря 1844 г. в семье Николая

Яковлевича Балакшина и его жены Ионафы Филипповны родился сын Александр – отец С.А. Балакшина (рисунок 1). Когда Александр достиг школьного возраста, он стал учеником школы декабристов. В школе для девочек учились его сестры Александра и Ольга. С ранних лет общаясь с декабристами и дома, и в школе, слушая их разговоры, Александр впитывал в себя их патриотизм и заботу об общественном благе. Эти замечательные черты передавались в семье Балакшиных из поколения в поколение.

По окончании Ялуторовской школы Александр Балакшин поступает в Тобольскую гимназию. Прочувшись в ней положенный срок, он уезжает в Казань с мечтой об университете. В 1860 г. он стал студентом «естественного разряда». В Казанском университете Александр Балакшин быстро сошелся с революционно настроенными кругами молодежи. Он стал участником революционно-демократического кружка, идейно и структурно связанного с обществом «Земля и воля». В годы учебы Александр неоднократно участвовал в студенческих собраниях и наряду с другими участниками подвергался допросам в университетской следственной комиссии и Совете Казанского университета. В итоге за свою революционную деятельность он был исключен из университета и сослан на родину, в Ялуторовск, под надзор полиции.

По окончании ссылки А.Н. Балакшин работал на частных предприятиях Ишима и Петропавловска (на казенную работу политических ссыльных не принимали). В 1872 г. он переехал в Курганский уезд Тобольской губернии, где совместно с друзьями основал в д. Логовушка крахмало-паточный завод, опытное поле и метеорологическую станцию. Вскоре он создает отделение Московского общества сельского хозяйства и становится его председателем.

В январе 1902 года Александр Николаевич подал в Министерство земледелия и государственных имуществ докладную записку с просьбой выделить необходимые денежные субсидии для развития в Сибири кооперативного маслоделия. Средства были отпущены, и А.Н. Балакшин был назначен руководителем организации по устройству кооперативных маслоделен. Начинать работать А.Н. Балакшину было тяжело. Мешали иностранные фирмы и частные торговцы.

Но кооперативное маслоделие в Сибири благодаря неустанной деятельности А.Н. Балакшина, развивалось успешно. В 1902-1907 гг. было организовано 273 маслодельных артели, выпускавших первоклассную продукцию. В 1907 году, когда правительственные субсидии кончились, А.Н. Балакшин предложил объединить все организованные к тому времени артели в Курганский союз маслодельных артелей, реорганизованный позже в Сибирский союз маслодельных артелей.

Г.Я. Маляревский в брошюре «Сведения о Союзе сибирских маслодельных артелей с диа-

граммами» писал: «Главным зачинщиком образования Союза сибирских маслодельных артелей и его первым директором был Александр Николаевич Балакшин. Ближайшими сотрудниками А.Н. Балакшина по устройству Союза на первых порах были его старший сын Андрей Александрович Балакшин и Александр Иосифович Грудзинский – бывший писарь Кротово-Вилковской волости Ишимского уезда Тобольской губернии» [1].

10 ноября 1907 года в г. Кургане собрались уполномоченные 16 артельных маслодельных заводов из 273, уже существовавших тогда в Западной Сибири.

«Мне, – вспоминает А. Грудзинский, – выпала честь быть председателем на этом собрании в качестве представителя Кротово-Вилковской артели, и я, как теперь, помню, маленькую комнату, в которой собрались уполномоченные от 16 артелей, из которых 12 тогда же постановили образовать между собой Союз. Количеством эти смельчаки были малы, но духом крепки и верили в то дело, которое им надлежало провести в жизнь. Положенные в основу будущего Союза принципы были выработаны самим населением и положены в основу организации маслодельных артелей...» [2].



Рисунок 1 – Семья А.Н. Балакшина.
Слева направо: Александр Николаевич, Сергей, Андрей и
Елизавета Михайловна, 1882 г.

27 ноября 1907 года Главное управление землеустройства и земледелия Министерства земледелия и государственных имуществ утвердило Устав Союза сибирских маслодельных артелей.

Эта чисто крестьянская кооперативная ор-

ганизация образовалась в г. Кургане 10 ноября 1907 г. и через 10 лет уже объединила свыше 2500 кооперативов – тысячи артельных заводов и лавок, сотни тысяч артельщиков, живущих в пределах семи губерний и областей на пространстве, в полтора раза превышающем Германскую империю.

В результате Союз сибирских маслодельных артелей, объединявший в 1918 году свыше 2500 артелей, стал, как свидетельствовал его экономическо-статистический отдел, одной из самых крупных кооперативных организаций не только в России, но и во всем мире.

Сибирский союз маслодельных артелей осуществлял производство, сбыт и экспорт большого количества сибирского масла, которое высоко ценилось как на внутреннем, так и на мировом рынке. Экспорт сибирского масла к 1917 году достиг 2,4 млн пудов в год. В результате такого значительного экспорта государство получало больше золота, чем давали его все золотые прииски нашей страны, вместе взятые [1; 2]. Однако экспорт масла за границу осложнялся для Союза необходимостью реализовывать масло через иностранные фирмы, что наносило значительный ущерб артелям – производителям масла. Поэтому в 1913 году по инициативе А.Н. Балакшина в Лондоне был организован Союз сибирских кооперативных товариществ «Юнион», основными членами которого стали Союз сибирских маслодельных артелей и английская фирма Лонсдейль. Председателем «Юниона» избрали А.Н. Балакшина. Вскоре «Юнион» уже развернул большую и плодотворную работу во многих странах мира. А.Н. Балакшин в 1913 году переезжает в Лондон.

В 1916 году, удалившись от дел, Александр Николаевич писал: «Я был только скромным сеятелем, и мне уже не дожить до того светлого дня, когда могучее кооперативное движение объединит все сельское население Сибири и перестроит всю деревенскую жизнь на новых началах. Я твердо верю в скорое наступление этого дня и вперед его благословляю». А.Н. Балакшин скончался в 1921 году в возрасте 77 лет и был похоронен на Хайгейтском кладбище в Лондоне.

Все эти годы рядом с ним была его жена Елизавета Михайловна Балакшина, образованная, энергичная, с волевым характером женщина. Она вместе с мужем делила все тяготы жизни, в частности работала на паточном заводе мастером по варке патоки и приемщиком картофеля. Находясь в Англии, Елизавета Михайловна живо интересовалась жизнью страны, ее обычаями. Балакшины побывали в различных городах Англии, познакомились с музеями, картинными галереями, памятниками архитектуры. Жизнь Елизаветы Михайловны в Англии облегчалась знанием французского языка, которым она владела в совершенстве. Но долго жить на чужбине Елизавета Михайловна не могла. Она была привязана к детям, очень скучала по Родине и стремилась побывать там при любой возможности.

Она считала, что в России она будет полезнее и нужнее. Елизавета Михайловна умерла в 1939 г. в возрасте 86 лет в Москве.

Но вернемся к Сергею Балакшину, будущему машиностроителю. Сережа рос любознательным мальчиком и с ранних лет интересовался техникой: сооружал на ручьях водяные мельницы, применяя в качестве двигателя деревянные или железные колеса с лопастями замысловатой формы, изучал их вращение. Он любил бывать на мельнице, где часами следил за работой механизмов или вел долгие беседы с мельником. Он любил мастерить, несложными инструментами делал детали механизмов и добивался, чтобы они работали. Много времени Сережа проводил на берегу реки, наблюдал, как течет вода. Быть может, уже тогда в голову мальчугана закрадывалась мысль о том, как использовать энергию воды.

Читать Сережа научился сам, азы школьных наук преподали ему родители. Мужской гимназии и реального училища в Кургане и ближайших городах не было. Поэтому к Сергею и его брату был приглашен учитель, который подготовил их в объеме курса уездного училища. Экзамены по программе училища мальчики сдали хорошо. Любознательность Сережи и его интерес к технике во многом развивал и отец. Сергею разрешалось проводить опыты в химической лаборатории, организованной отцом при паточном заводе. В его обязанности входило также наблюдение за приборами метеорологической станции «Старо-Сидорово», также созданной отцом. Сводки наблюдений (ежесуточно, 3 раза в день) систематически направлялись в Петербург, где обрабатывались и включались в метеосводки по всей России.

В 1892 г., учитывая любовь Сергея к технике, родители направили его учиться в Омское техническое училище. В то время еще не было железной дороги, соединяющей Курган с Омском, и Сережа с матерью добирались в Омск на почтовых лошадях по Сибирскому тракту. В Омске Елизавета Михайловна устроила Сергея жить на частной квартире. Позднее она вспоминала: «Сережу приняли в техническое училище. Учащиеся продвинулись по физике и другим предметам далеко вперед, и Сергею пришлось их догонять. Кроме того, приходилось по 4 часа в день работать в мастерских – столярной, слесарной и литейной. Особенно трудно было в литейной, где было очень жарко. Подбор учителей в училище оказался хороший. Директор Панов был строгий и требовательный человек. Он наладил дисциплину в училище. По вечерам он заходил в мастерские и наблюдал за работами учащихся. Сережа всегда отличался прилежанием».

Сергей был первым учеником в училище. Занимался немецким языком и увлекался фотографией. На каникулы он приезжал домой с товарищем. Тогда уже было открыто железнодорожное движение между Омском и Курганом.

Отец, наблюдая, с каким вниманием изучает Сергей технику, решил, что из него выйдет хороший специалист и что ему необходимо получить высшее образование. Отец настоял на том, чтобы Сергей поехал учиться в Германию. В 1895 году Сергей Балакшин окончил Омское техническое училище и вскоре поступил в Шарлоттенбургский политехнический институт. В Берлине Сергей не чувствовал себя недоучкой. У него была хорошая практическая и теоретическая подготовка, кроме того, юноша неплохо владел немецким языком. Все это позволило ему успешно учиться в институте под руководством опытных профессоров.

Появление студента из далекой Сибири в Шарлоттенбургском политехническом институте вызвало всеобщее удивление. Здесь время от времени учились студенты из России, но из Сибири – такое было впервые. Об этом крае здесь вообще имели довольно смутное представление, считали, что Сибирь сплошь покрыта непроходимыми лесами, в которых обитает множество диких зверей, и заселена первобытными племенами.

Немецкие профессора поражались трудолюбию и настойчивости сибирского студента. Сергей упорно изучал новинки техники, много работал в хорошо оснащенных лабораториях института, допоздна засиживался в библиотеке. На экзаменах он обнаруживал хорошие знания и умение применять их для решения практических задач. Особенно интересовался он вопросами гидроэнергетики и машиностроения. Нередко Сергей посещал немецкие заводы. Он внимательно изучал организацию и технологию их производства. Знакомился юноша одновременно и с литературой, касающейся производства в других странах, в частности, в Америке.



Рисунок 2 – Инженер С.А. Балакшин, 1899 г.

В конце 1899 г. С.А. Балакшин окончил Шарлоттенбургский политехнический институт с дипломом инженера-механика и вернулся на Родину (рисунок 2). По возвращении он получил ряд заманчивых предложений, в частности был приглашен на один из казенных заводов Киева в качестве главного инженера. Эта должность давала молодому инженеру перспективу спокойной жизни в хороших климатических условиях. Но Сергей отказался от этого предложения. «Основной причиной отказа послужило его стремление осуществить главную задачу своей жизни – создание и развитие машиностроения в Сибири. И он уезжает в родной край, чтобы начать нелегкий путь первопроходца в производстве водяных турбин и ряда сельскохозяйственных изделий» [2; 3].

Начало машиностроения

На рубеже XX века Сибирь в основном была сельскохозяйственным краем, дающим большое количество зерна. Естественно, собранный урожай требовал переработки и, в частности, помола на мельницах. В то время помол производился на мелких сельских водяных и ветряных мельницах, которых в Сибири к концу XIX столетия насчитывалось около 25 тысяч. И лишь в таких больших городах, как Омск, Томск и Новониколаевск (с 1925 г. – Новосибирск), зерно мололи на паровых мельницах.

Механизмы сельских водяных мельниц приводились в движение деревянными колесами. Они быстро изнашивались, имели малый коэффициент полезного действия и требовали для вращения значительного количества воды. Производительность водяных мельниц с деревянными колесами была крайне низкая. Кроме того, водяные мельницы не могли работать весной, в половодье, и летом, когда в мелководных реках было мало воды. Надо отметить, что в те времена энергия сибирских рек, больших и малых, практически не использовалась.

На базе животноводства в Сибири было развито маслоделие. Масло, как уже отмечалось, не только поставлялось на местные рынки и в европейскую часть России, но и экспортировалось за границу. Уже в 1890 г. Сибирь экспортировала около 1 млн пудов масла. Для оснащения маслодельных заводов требовалось большое количество разнообразного оборудования – ручные и приводные маслобойки, отжимные столы, сепараторы, фляги, молоковесы, конные приводы и т. п. В России такое оборудование не изготавливали, а закупали за границей. Более того, в начале двадцатого века в Сибири не было даже механических заводов, и все работы велись в мелких кустарных мастерских, примитивно оборудованных, а также в кузницах и железнодорожных депо. Но и эти маломощные предприятия ощущали нехватку рабочих рук. Особенно остро Сибирь нуждалась в квалифицированных рабочих.

В 1899 г. С.А. Балакшин приехал к родителям

в д. Логовушка Курганского уезда. Перед молодым инженером открылось широкое поле деятельности. Энтузиаст создания промышленности в Сибири, он горел желанием скорее применить свои знания на практике. Тщательно обсудив намеченные планы с отцом А.Н. Балакшиным и тестем А.П. Ванюковым, Сергей Александрович вступил в товарищество «Балакшин, Ванюков и К°» и приступил к организации в Логовушке механической мастерской (рисунок 3). При этом он понимал, что столкнется со многими трудностями – отсутствием средств, квалифицированных рабочих и оборудования, острой конкуренцией с иностранными фирмами и т. п. Но С.А. Балакшин смело шел по намеченному пути и не свернул с него до конца своей жизни.

Возглавляемая С.А. Балакшиным механическая мастерская в Логовушке в 20 км от Кургана открылась уже в середине 1900 г. В старых саманных и деревянных зданиях общей площадью около 150-200 м² разместили оборудование с тремя полуизношенными токарными станками, кузнечный горн, литейную с небольшой вагранкой, а также бондарное отделение. Для вращения станков применяли паровую машину соседнего паточного завода, а так как он действовал только осенью, мастерская в основном пользовалась конным приводом. В мастерской работали 15 человек, включая технического руководителя – инженера С.А. Балакшина и ученика копировщика Федора Вотякова.

Вскоре С.А. Балакшин уже наладил изготовление оборудования для маслодельных заводов: ручных и приводных маслобоек, конных приводов, отжимных столов, фляг, молоковесов и других изделий. Несмотря на примитивные условия производства, выпускаемое мастерской оборудование было хорошо сконструировано и отличалось неплохим качеством. Оно тщательно проверялось в условиях эксплуатации и быстро завоевало признание и популярность не только в Курганском уезде, но и далеко за его пределами, тем более что предприятие такого профиля было единственным на всю Сибирь.

В начале своей деятельности молодой инженер столкнулся с крупными недостатками в развитии отечественной промышленности: массовым выпуском таких деталей, как болты и гайки, взаимозаменяемостью отдельных компонентов и отсутствием стандартизации размеров. В 1904 г. впервые в России он выступил со статьей о необходимости введения в нашей стране стандартизации в машиностроении.

Изготовление оборудования для маслодельных заводов С.А. Балакшин рассматривал как промежуточный этап, как подготовку к выпуску более сложной и необходимой для Сибири продукции, позволяющей использовать большие сибирские водноэнергетические ресурсы. Он хорошо понимал, что деревянные мельничные колеса, применявшиеся в качестве двигателя на

многочисленных сельских мельницах, должны быть заменены гидротурбинами. Одновременно С.А. Балакшин предвидел и то, что наряду с малыми гидротурбинами для мельниц со временем будут необходимы более мощные гидротурбины для будущих гидроэлектростанций на Енисее, Ангаре, Амуре, Оби и других сибирских реках. Он мечтал о больших масштабах развития отечественной гидроэнергетики и поставил перед собой цель воплотить эту мечту в жизнь. Вынашивая идею широкого использования «белого угля» сибирских рек, С.А. Балакшин пришел к выводу о необходимости постройки завода по выпуску гидротурбин.

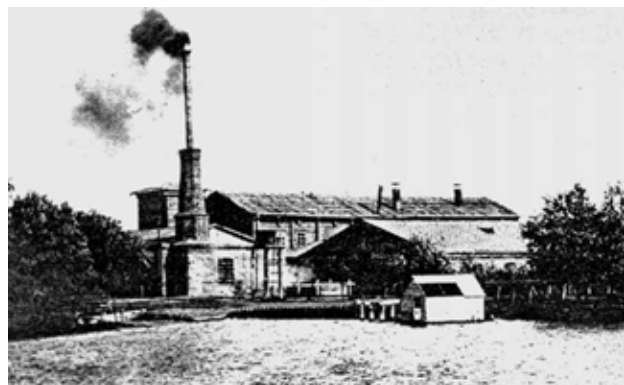


Рисунок 3 – Крахмало-паточный завод и механическая мастерская в д. Логовушка Курганского уезда, 1900 г.

Удаленность мастерской от Кургана создавала большие трудности при доставке материалов и отправке готовой продукции. Мешала она и налаживанию связей с заказчиками и покупателями. Все это побудило С.А. Балакшина перевести мастерскую из Логовушки в Курган. Одновременно он вышел из состава товарищества, которое разрешило ему перевести несколько строений мастерской в город для размещения будущего предприятия.

Курган, куда переехала мастерская С.А. Балакшина, представлял собой обычный захолустный город Сибири, расположенный в лесостепной полосе на левом берегу р. Тобол. В 1904 г. в Кургане было восемь улиц, в основном застроенных одноэтажными домами, и лишь на двух центральных улицах располагалось несколько двухэтажных каменных построек, в том числе женская гимназия, банк и три церкви. В 1904 г. в Кургане насчитывалось 30 тыс. жителей [4].

На окраине Кургана был участок земли, на котором располагались дом и хозяйственные постройки, принадлежавшие А.П. Ванюкову. Этот участок располагался между улицами Новозапольной (ул. Гоголя) и Пушкинской, а также между переулками Казарменным (ул. Кирова) и Богородским (ул. Томина). Здесь сегодня располагается областная больница. Часть участка тесть уступил С.А. Балакшину, который разместил здесь несколько построек, перевезенных из Логовушки. В те времена в Кургане не было инженеров и техников, которые могли бы работать на заводе

в качестве конструкторов. Неудивительно, что С.А. Балакшин сам конструировал все изделия, начиная с гидротурбин и кончая инструментом (пробки, калибры и др.). Это была интересная работа, но она требовала много сил, времени и энергии. Наряду с конструированием основной продукции ему приходилось разрабатывать специальные станки и приспособления. Так, для обработки крупногабаритных изделий С.А. Балакшин создал лоботокарные станки, которые в России не выпускались, а за границей стоили очень дорого.

Рабочих на завод Сергей Александрович набирал из мастеровых (кузнецы, слесари по ремонту сельскохозяйственного инвентаря), городской молодежи и пригородных крестьян (рисунок 5). Обучив их разным профессиям, он подготовил большое количество высококвалифицированных рабочих. В ходе организации завода С.А. Балакшин затратил много труда на отработку технологии изготовления изделий, которая обеспечивала выпуск высококачественной продукции по ценам ниже, чем у его конкурентов – иностранных фирм. При этом он был убежден, что выпуск дешевой, высококачественной и надежной продукции создает авторитет заводу и обеспечит ее сбыт.

«Приступая к разработке гидротурбины, С.А. Балакшин столкнулся с затруднениями, вызванными отсутствием аналогов не только таких машин, но и деталей их конструкций. Его, в частности, интересовал профиль лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата гидротурбин. Но в отечественной технической литературе материалов по гидротурбинам он не нашел, а в иностранной они оказались очень скудными. Нелегко было и с консультантами по гидротурбинам – их просто не было. Некому было поручить даже снять кальку с рабочих чертежей, разработанных С.А. Балакшиным. От всех этих трудностей у него становилось беспокойно на душе, возникала мысль о реальности решения построить завод в Кургане. Но отказаться от идеи создания в Сибири машиностроительной промышленности и гидроэнергетики С.А. Балакшин не мог. Добиться ее реализации он считал своим долгом» [2].

В строениях, вывезенных из Логовушки, были оборудованы первые службы будущего завода, прежде всего механический цех. В нем был установлен вертикальный котел, снабжающий паром паровую машину мощностью в 4 л. е., которая приводила в движение три весьма изношенных токарных станка. В этом же цехе находились два сверлильных станка и 10 слесарных мест, а также лудильное хозяйство. Вскоре был построен склад для хранения материалов. Общая производственная площадь к этому моменту равнялась 150 м². Контора, в которой днем С.А. Балакшин работал и принимал посетителей, вечером превращалась в конструкторское бюро. Тут же его жена Елена Андреевна занималась бухгалтерией и перепиской с заказчиками. Коллектив сотрудников за-

вода составляли 25 рабочих и 3 представителя администрации (С.А. Балакшин, его жена и Федор Вотяков).

На организацию Курганского турбиностроительного завода ушло около трех лет. 1 января 1904 г. «Чугуно-меднолитейный и механический завод инженера С.А. Балакшина» приступил к работе и вначале выпускал оборудование для маслодельных предприятий. Но С.А. Балакшин неустанно думал об организации производства гидротурбин. В то время в России их изготовлением практически не занимались. До 1917 г. в нашей стране было построено всего три малых ГЭС с суммарной мощностью около 5000 кВт. Гидротурбины для этих ГЭС были приобретены за границей. Следует заметить, что в Западной Европе и США в начале XX века гидротурбины выпускались рядом фирм (Эшер Вис, Эрлангер и др.), стоили они очень дорого и были мало доступны для широкого потребления в России.

Наиболее известным тогда производителем в нашей стране был турбинный завод Пирвица и Ко в Риге, выпускавший гидротурбины малой мощности. В 1915 году этот завод был эвакуирован в Москву, а в 1917-1918 гг. на его базе был создан завод «Красная Пресня», который с 1924 г. начал производство советских гидротурбин.

С.А. Балакшин пытался привлечь к конструированию гидротурбин специалистов, но его попытка не увенчалась успехом. Тогда он решил разработать конструкцию турбин самостоятельно. Не имея возможности воспользоваться документацией и чертежами завода Пирвица, Сергей Александрович изучал конструкции турбин в основном по редкой иностранной литературе. При этом он самостоятельно проводил все проектно-конструкторские и опытные работы. В 1904 г. С.А. Балакшину представился случай поработать с заграничной гидротурбиной фирмы «Эрлангер». Она была куплена для мельницы К.М. Дунаева (под Курганом), и С.А. Балакшину предложили установить ее и пустить в ход. Проанализировав работу турбины фирмы «Эрлангер», оценив ее достоинства и подметив недостатки, С.А. Балакшин обратил внимание на то, что она недостаточно эффективно использует подводимую к ней энергию воды. В этой связи он критически отнесся и к разработанному проекту своей гидротурбины: еще раз тщательно рассчитал и уточнил намеченный им профиль лопаток и направляющего аппарата и ввел ряд дополнительных усовершенствований.

В 1905 году на Курганском турбиностроительном заводе по чертежам С.А. Балакшина была изготовлена первая в Сибири гидротурбина радиально-осевого типа (рисунок 6). Ее назвали «Богатырь-быстроход». Этому событию радовались все заводчане: и инженер-конструктор С.А. Балакшин, и рабочие, чьими руками воплотили его мечту. Все с нетерпением ждали испытаний на мельнице в Кокчетавском уезде (Казахстан).

Испытания прошли успешно: турбина Балакшина показала высокий коэффициент полезного действия и надежность в работе.

С целью популяризации широкого внедрения гидротурбин на мельницах С.А. Балакшин написал очерк «Два брата». В этой брошюре он в аллегорической форме рассказал о том, как на одной из мельниц к гидротурбине отнеслись недоверчиво и продолжали использовать деревянное колесо в качестве двигателя. На другой же мельнице более дальновидные люди сразу применили гидротурбину. Она эффективно использовала энергию водооттока, и мельница работала даже в то время, когда в реке было мало воды. В итоге здесь почти не знали простоев.

И вот в один из морозных дней на Курганский турбиностроительный завод в кабинет С.А. Балакшина вошел человек в меховом тулупе и огромной меховой шапке. Его борода была вся покрыта снегом и сосульками. Видно было, что он пришел издалека. Обратившись к Сергею Александровичу, посетитель сказал: «Я прочел Ваш очерк «Два брата» и решил приобрести водяную турбину для нашей мельницы и жить так, как тот Иван, о котором Вы так красочно написали в книжке».

Вторая гидротурбина Курганского турбиностроительного завода была установлена на р. Куртамыш Курганского уезда, а затем началось их победное шествие по Сибири, Уралу, европейской части России, Средней Азии и Кавказу. Гидротурбины Балакшина быстро завоевали признание: они обладали высоким КПД, широким диапазоном мощностей, надежностью в работе и относительно низкой стоимостью. При этом курганские гидротурбины не только отличались хорошим качеством изготовления, но и своевременно доставлялись заказчику. Спрос на турбины превышал возможности завода, который ежегодно мог давать около ста агрегатов.

Кроме турбин с вертикальным расположением вала, на Курганском турбиностроительном заводе выпускали турбины с горизонтальным валом и изогнутой отсасывающей трубой. Выполнялись компоновки и со сдвоенными горизонтальными турбинами на общем горизонтальном валу и питанием из открытой камеры.

В 1905-1919 гг. на Курганском турбиностроительном заводе были созданы около тысячи различных типов турбин по конструктивному исполнению и по мощности от 1,0 до 300 кВт, рабочий напор от 0,5 до 4,5 м и расход воды – до 9 м³/сек. Коэффициент полезного действия этих гидротурбин составлял в среднем 80%.

Среди различного оборудования, выпускаемого в этот период Курганским заводом, важное место занимают турбопоставы. Представьте себе металлический кожух, внутри которого размещены два жернова: нижний неподвижный и верхний вращающийся. Сверху кожуха закреплены бункер, в который засыпается зерно, предназначен-

ное для размола, а сбоку кожуха – желоб, через который высыпается мука. Такой кожух-турбопостав размещали на чугунном постаменте, сквозь него проходил вертикальный вал гидротурбины, на верхнем конце которого крепился верхний жернов постава. Турбопоставы системы инженера С.А. Балакшина отличались простой конструкцией. Их было легко установить и эксплуатировать. Стоимость их была доступной.

Штат работников завода был невелик. И им было непросто проводить предварительное обследование мест предполагаемых установок турбин. Поэтому С.А. Балакшин разработал специальные анкеты, которые рассылались заказчикам. В этих анкетах содержались интересующие турбиностроителей вопросы, в частности, о количестве воды, протекающей в реке за единицу времени на том участке, где предполагалось установить турбину. Кроме того, в анкете запрашивалось предполагаемое количество работающих поставов, характеристика ожидаемого напора воды на мельнице, описание места ее расположения. Все эти сведения позволяли прямо на заводе рассчитать и подобрать требуемый для тех или иных условий тип гидротурбины, провести компоновку сооружений.

Как известно, первоначальное оборудование Курганского завода составляли станки, привезенные из Логовушки. Заботясь о повышении технической вооруженности завода, С.А. Балакшин ежегодно приобретает новое отечественное и зарубежное оборудование, нередко используя для этого представительства иностранных фирм в России.



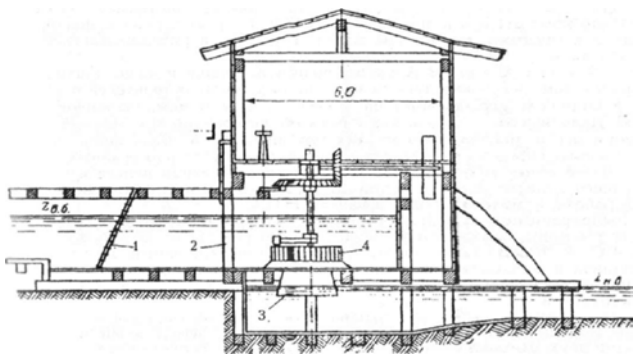
Рисунок 4 – В литейном цехе 1908 год

Случалось, что нужный станок заводу отсутствовал на отечественном и зарубежном рынках. Тогда заводчане изготавливали его сами. Например, на заводе был создан лобовой станок для обработки крупных изделий. Модернизировалось и энергосиловое хозяйство завода. В декабре 1913 г. был пущен новый локомотив мощностью 70 л. с. производства немецкой фирмы «Вольф-Тандем». В мае 1916 г. начала действовать новая усовершенствованная вагранка производительностью 3000 кг литья в час. Еще с 1905 г. завод был

оборудован электрическим освещением. Местные жители восприняли этот факт как чудо, в то время в Кургане об электричестве многие даже не слышали.



Рисунок 5 – Рабочие и служащие завода, третий слева С.А. Балакшин. На переднем плане колесо турбины. 1908 год



1 – сороудерживающая решетка; 2 – паз затвора; 3 – отсасывающая труба; 4 – гидротурбина

Рисунок 6 – Гидротурбина и схема ее расположения на мельнице



Рисунок 7 – Отправка в Казахстан гидротурбины. 1905 г.

Между тем Сергей Александрович все чаще и чаще приходил к мысли о том, что продукция курганских турбиностроителей нуждается в широком признании на отечественном и международном рынках. Дело в том, что в технической литературе тех лет ничего не говорилось о радиально-осевых турбинах С.А. Балакшина. А они, по мнению самого конструктора, отличались от иностранных образцов более совершенной формой лопастей рабочего колеса и направляющего аппарата, обеспечивали оптимальные гидравлические условия работы и имели более высокий КПД.

Было решено продемонстрировать курганские гидротурбины на ряде выставок, причем не

только в России, но и за рубежом (рисунок 7). При этом С.А. Балакшин полагал, что критические замечания экспертов выставок и различных специалистов помогут заводу улучшить качество гидротурбин, а демонстрация их на выставках привлечет новых покупателей.

Выставочные образцы готовились с особой тщательностью. Они были хорошо отлажены и имели весьма привлекательный вид. Каждая из двух посылаемых на выставку турбин была снабжена подробным описанием, имела технические характеристики и отзывы заказчиков. Экспонаты были аккуратно упакованы и отправлены в 1908 г. багажом по железной дороге: одна гидротурбина была доставлена в Марсель (Франция) на Всемирную выставку по применению электричества, вторая – на Всемирную выставку в Стокгольм (Швеция).

Отправив свои детища за границу, Сергей Александрович не находил себе места, волновался. И было из-за чего: русские гидротурбины экспонировались на международных выставках впервые! И вот наконец из Марселя пришло сообщение – гидротурбине конструкции инженера С.А. Балакшина присужден гран-при и золотая медаль (рисунок 8). Это была награда талантливому конструктору инженеру С.А. Балакшину и его высококвалифицированным рабочим, большинство из которых были его учениками. Спустя некоторое время пришло сообщение и из Швеции: гидротурбина Курганского турбиностроительного завода получила на Всемирной выставке серебряную медаль (рисунок 9).

Итак, курганские гидротурбины сразу завоевали мировое признание. Однако талантливый инженер-конструктор не остановился на достигнутом. Его гидротурбины систематически совершенствовались, причем качество их изготовления неизменно было на высоком уровне. В итоге небольшое предприятие, каким был Курганский турбиностроительный завод, стало первым в Сибири машиностроительным центром, а его турбины нашли применение при использовании энергии рек. Идея С.А. Балакшина об организации в Сибири машиностроительной промышленности и о развитии гидроэнергетики начала осуществляться (рисунок 10).

Гидротурбины и другие изделия завода получали награды и на отечественных выставках. Так, на первой Всероссийской мукомольной выставке (Петербург) в 1909 году заводу Балакшина присуждены золотая и серебряная медали. Большая золотая медаль была вручена Курганскому турбиностроительному заводу в 1911 году на Западно-Сибирской выставке (Омск) и там же в 1913 г. – бронзовая медаль Министерства финансов России [2; 3].



Рисунок 8 – Золотая медаль, присужденная С.А. Балакшину на Всемирной выставке в Марселе (Франция) в 1908 г. за конструкцию гидротурбины



Рисунок 9 – Серебряная медаль, полученная С.А. Балакшиным на Всемирной выставке в Стокгольме (Швеция) в 1908 г. за конструкцию гидротурбины

Кроме турбин, этой основной продукции, завод выпускал запасные части к турбинам и турбопостам, ремни приводные кожаные и из верблюжьей шерсти, соединители для ремней, шкивы чугунные для канатной передачи, подъемные винты для ставней, трансмиссии и т. д. Вся продукция завода не только отличалась хорошим качеством, высоким коэффициентом полезного действия, широким диапазоном мощностей, надежностью в работе, относительно низкой стоимостью, но и своевременно доставлялась заказчику. Спрос на курганские гидротурбины превышал возможности завода. В предисловии к преискуранту своего завода Сергей Александрович в 1914 году писал: «Работая уже несколько лет специально по постройке турбин и мельниц и оглядываясь назад, я не могу не испытывать чувства глубокого удовлетворения.

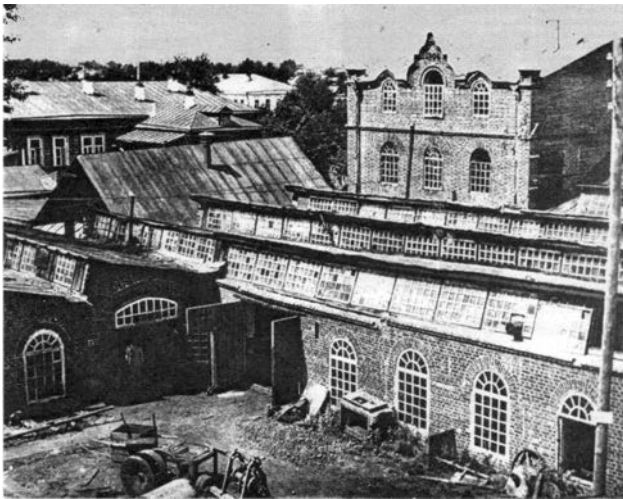


Рисунок 10 – Вид на завод С. Балакшина в г. Кургане, 1913 г. Слева – кузница, справа – слесарный цех, вверху – главный корпус, слева вверху – контора с жилым домом

Скептическое отношение к выпускаемым мною турбинам и принадлежностям мельниц в первые годы работы моего завода сменилось вполне справедливым признанием хороших качеств изделий и все возрастающий спрос на изделия, который я с трудом могу удовлетворить, несмотря на постоянное увеличение производства, лучше всего показывает, что всегда добросовестное отношение моего завода к делу достойно оценено заказчиками. Турбины «Богатырь» установлены и работают не только на обширной территории Сибири до Иркутска, но нашли широкое применение на Урале и в Сибири... Это дает мне право думать, что все время прилагаемые мною усилия к улучшению производства до возможной степени совершенства, не уступающей за границе, при умеренной цене нашли отклик среди клиентов, и я, кажется не ошибусь, если скажу, что благодаря специализации в деле построения турбин и мельниц с применением самых новейших конструкций, проверенных на практике, удалось создать экономную, сильную, практичную и доступную по цене машину» [2].

С момента организации завода С.А. Балакшин систематически уделял внимание введению там всех новинок техники: и совершенствованию оборудования, и применению совершенной технологии производства, и механизации трудоемких работ (рисунок 11). На заводе использовались электродвигатели и было электрическое освещение. Тяжести поднимались мостовым краном, были лебедки и тали. Отопление паровое, вентиляция приточно-вытяжная с подогревом воздуха. На территории завода была проложена узкоколейка с заходом в цеха для транспортировки топлива, материалов и готовой продукции.

Из года в год возрастал авторитет завода среди деятелей промышленности и сельского хозяйства России. Об этом, в частности, свидетельствует заводская книга отзывов, оставленных посетителями, среди которых были заказчики и приемщики оборонных заказов, а также специалисты различных предприятий, ученые, приезжавшие в Курган.

Действительный член Технического общества и Московского общества сельского хозяйства И. Юшков, осмотрев завод 27 мая 1914 года, записал: «Я посетил завод, организованный Сергеем Александровичем, и не могу не выразить чувства уважения к неутомимому труду, энергии и настойчивости таких тружеников, как Сергей Александрович. Пора наконец, чтобы русское общество отметило труды таких деятелей, создавших при самых отрицательных условиях подобные предприятия». Под этим отзывом подписался также профессор Томского технологического института А.А. Потенция [3].

31 мая 1917 года завод посетил приемщик Военно-промышленного комитета А.А. Мациевский. «От всей души, – писал он, – желаю полного успеха и процветания заводу во имя общего развития промышленности Сибири и из-

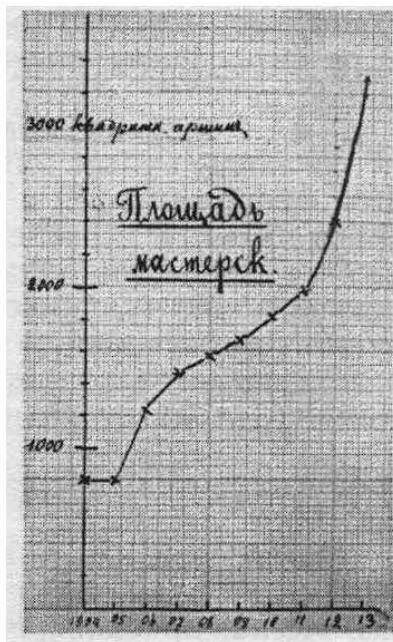
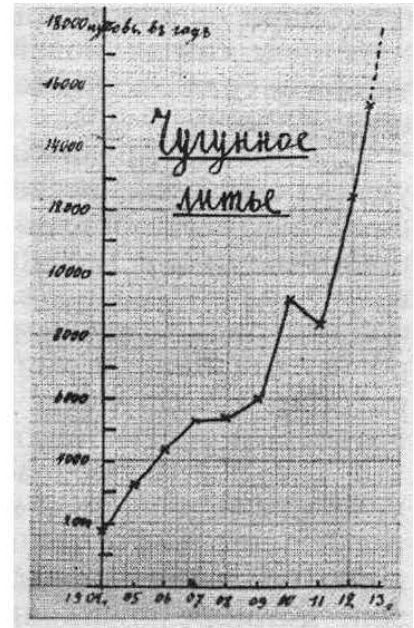


Рисунок 11 – Графики, отражающие показатели работы турбиностроительного завода С.А. Балакшина за период 1904-1914 гг. (выпуск чугуна представлен в пудах, площадь мастерской – в кв. аршинах)

бавления от технического ига иностранцев».

Инженеры В. Хряев, Б. Семенов и др. 18 мая 1919 года оставили следующую запись: «Нами осмотрен завод, организованный инженером С.А. Балакшиным. Это один из лучших заводов Сибири в отношении продуманности производства чугунного литья, а в особенности гидравлических турбин, которые с каждым выпуском обладают новой конструктивной особенностью, двигающей дело турбиностроения вперед. Побольше бы таких заводов. Чувствуется громадная энергия С.А. Балакшина в отношении своего детища, которое достигло теперешнего положения благодаря постоянному уходу этого неумолимого, любящего свое дело человека».

Аналогичных отзывов о Курганском турбиностроительном заводе, его технологии и качестве продукции было много.

Осенью 1919 года С.А. Балакшин был мобилизован как инженер в белую армию и вынужден покинуть Курган. Но на службу он не попал, заболев по дороге сыпным тифом. Жена, приехавшая ухаживать за ним, вскоре также подхватила сыпняк. В ноябре 1919 года, едва оправившись от болезни, они выехали в Томск, где в то время у родственников жили их дети [2].

Покидая Курган, Сергей Александрович считался с рабочими и передал ключи от действующего завода рабочему комитету. Он отверг требование белых властей взорвать или вывести завод из строя. Он до конца жизни считал этот завод своим вкладом в промышленное развитие Сибири.

В первые десятилетия Советской власти завод продолжал выпуск водяных турбин. Их использование в народном хозяйстве страны способствовало претворению в жизнь плана ГОЭЛРО. Турбины поставлялись не только в Сибирь, на Урал и в Казахстан, но и на Кавказ и Кубань. Большое количество курганских турбин предназначалось для электрификации сельской местности. Например, в селе Звериноголовском в 1925 г. была построена первая в Зауралье сельская гидроэлектростанция. Она снабжала электроэнергией девять населенных пунктов, обеспечивала работу 23 двигателей суммарной мощностью 180 кВт и давала ток для освещения 5000 лампочек. Работая в Томске, С.А. Балакшин в 1925-1931 гг. не раз выполнял задания Курганского турбиностроительного завода по разработке конструкций новых типов гидротурбин, проводил технические консультации, выступал в защиту интересов завода в судебных и прочих инстанциях.

В 1931 году встал вопрос о значительном расширении Курганского турбиностроительного завода и организации на нем производства мощных гидротурбин для оснащения крупных гидроэлектростанций, которые предполагалось построить на сибирских реках. Для решения этого вопроса в Курган прибыла специальная комиссия производственного объединения «Котлотурбина» во

главе с профессором И.Н. Вознесенским. Следует отметить, что к этому времени производство крупных турбин было уже налажено на Ленинградском металлическом заводе. Первые гидротурбины, мощностью 370 кВт каждая, этот завод изготовил в 1924 г. для Окульской ГЭС. В последующие годы мощности гидротурбин Ленинградского металлического завода сильно возросли и измерялись десятками тысяч киловатт. Кроме того, в Москве на заводе «Красная Пресня» с 1924 г. был начат выпуск малых гидротурбин, а с 1926 г. на заводе им. М.И. Калинина – более крупных. Первая такая турбина этого завода предназначалась для Сызранской ГЭС.

Все это в значительной мере повлияло на решение комиссии. Профессор И.Н. Вознесенский и его коллеги высказались против организации в Кургане производства мощных гидротурбин. Более того, они посчитали возможным вообще прекратить выпуск на заводе любых гидроагрегатов. Это огорчило С.А. Балакшина. Он считал, что многолетний налаженный выпуск малых турбин на заводе следовало бы оставить в целях обеспечения электрификации сельских районов и развития малой энергетики в Сибири. Но изменить решение он не смог. После прекращения выпуска турбин Курганский турбиностроительный завод был перепрофилирован на производство сельскохозяйственных машин [3].

С.А. Балакшин – гидроэнергетик

С.А. Балакшин, занимаясь с 1905 г. вопросами турбиностроения и связанного с ним использования водной энергии отдельных рек, одновременно интересовался возможностью более широкого применения дешевой водной энергии рек Сибири, считая ее основой электроснабжения будущей сибирской промышленности. Он внимательно изучал все работы, касающиеся этой области. Спустя месяц после установления Советской власти в Томске, Сергей Александрович приступил к реализации идеи освоения энергии «белого угля» рек Сибири в интересах народного хозяйства.

С.А. Балакшин создал инициативную группу, в состав которой вошли профессор В.Н. Пинегин, инженеры М.А. Великанов, В.Н. Орлов, Г.Т. Поварнин. Эта группа подготовила и в начале января 1920 г. подала в Совет народного хозяйства Томского губисполкома докладную записку, в которой предлагалось открыть специальный отдел по исследованию и использованию энергии рек для нужд электрификации. 20 января Томский губисполком принял это предложение и поручил С.А. Балакшину организовать и возглавить Подотдел гидравлических установок при Отделе государственных сооружений Томского Совета народного хозяйства. Сергей Александрович с энтузиазмом взялся за порученное дело, но очень скоро понял, что гидроэнергетику нужно развивать в масштабе всей Сибири. И тогда он представил докладную записку о необходимости формирования единого органа, изучающего гидроресурсы всего края.

В июне 1920 г. было решено организовать специальное учреждение, занимающееся водными ресурсами Сибири, – Бюро по исследованию и использованию водных сил Сибири (Сибисполвод). Оно подчинялось Сибирскому комитету государственных сооружений. Его руководителем был назначен инженер С.А. Балакшин.

Перед Сибисполводом стояли большие проблемы, в первую очередь, разработка и решение вопросов, связанных с использованием водной энергии рек Сибири, проведение исследований и изысканий в этой области, а также проектирование и надзор за всеми установками, работающими на «белом угле». Имея очень ограниченные средства и малочисленный штат, испытывая недостаток в оборудовании, Сибисполвод все же приступил к работам по выявлению мест, откуда можно было бы срочно наладить подачу электроэнергии на промышленные предприятия Сибири. В 1920-1921 гг. Сибисполводом было направлено несколько поисковых отрядов в горные районы Сибири (Алтай, Саяны и др.). Цель таких экспедиций – конкретные исследования небольших горных рек, энергию которых можно было быстро и эффективно использовать для нужд промышленности без значительных капитальных вложений. Энергетические же возможности больших рек Сибири (Обь, Енисей, Амур, Лена) определяли в основном по материалам и данным научной и технической литературы. Строительство в Сибири мощных гидроэлектростанций представлялось делом будущего. Сегодня сооружены и действуют такие сибирские гиганты, как Братская и Усть-Илимская ГЭС на Ангаре, Саяно-Шушенская и Красноярская на Енисее и ряд других. Но в начале 20-х годов С.А. Балакшин и его коллеги могли об этом только мечтать. И все же их дела, имеющие важное народнохозяйственное значение, приближали будущее сибирской гидроэнергетики.

Узнав об учреждении Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО), руководство Сибисполвода решило установить с ней контакт. Однако из-за отсутствия средств командировка в Москву С.А. Балакшина не состоялась. Между тем в столицу по делам Томского государственного университета должен был поехать профессор А.П. Поспелов, который являлся консультантом Сибисполвода. Ему и поручили доложить комиссии ГОЭЛРО о работе и планах Сибисполвода по исследованию и использованию водной энергии сибирских рек.

14 сентября 1920 года профессор А.П. Поспелов принял участие в заседании комиссии ГОЭЛРО, которое вел Г.М. Кржижановский, и рассказал о работах Сибисполвода. Комиссия высоко оценила деятельность Сибисполвода, признав ее чрезвычайно важной в связи с предстоящей электрификацией края, а Западная Сибирь в числе восьми других регионов была включена в план ГОЭЛРО. В план ГОЭЛРО было включено строительство Алтайской (Ульбинской) ГЭС.

Вначале в Сибири строились сравнительно небольшие гидроэлектростанции, относящиеся к категории малых ГЭС. Ульбинская ГЭС была сооружена за период 1925-1934 гг. и имела мощность в 27000 кВт. В 1927 г. на р. Громотухе была введена в эксплуатацию Хариузовская ГЭС с установленной мощностью 5600 кВт. Ряд интересных и важных работ Сибисполвод сделал в отношении развития гидроэнергетики Алтайского края и тогдашней Иркутской области.

В 1923 году ввиду отсутствия средств Сибисполвод был расформирован. Но даже краткий перечень работ, проведенных этой организацией по исследованию водной энергии рек Сибири, свидетельствует о ее значении в развитии сибирской гидроэнергетики. Действительно, за время своего существования (1920-1923 гг.) Сибисполвод проделал большую работу в области изучения природных богатств Сибири; впервые сформулировал многие важные положения развития гидроэнергетики этого края; составил первый Кадастр водных сил Сибири; определил места постройки многих гидроэлектростанций; внес значительный вклад в работу ГОЭЛРО по разработке плана электрификации Западной Сибири.

Труды С.А. Балакшина «Запасы водных сил Сибири» и «Вопросы энергетики Сибири», опубликованные в нашей стране и за рубежом, были доложены на Первой мировой энергетической конференции в Лондоне (1924 г.) и Второй мировой энергетической конференции в Берлине (1930 г.).

Интересен вывод Сергея Александровича о потенциале гидроресурсов Сибири. На основе анализа имеющейся отечественной и иностранной литературы, проведения научно-технических расчетов по определению гидропотенциала сибирских рек ученый провел сравнение гидроресурсов Сибири с гидроресурсами других стран. С.А. Балакшин считал, что к 1922 г. потенциал гидроресурсов Сибири равен примерно 38 млн кВт. В то время в США он составлял примерно 20 млн кВт, т. е. был почти в 2 раза меньше. Однако там его использовали на 16,8%, т. е. 3,33 млн кВт, а в Сибири всего на 0,18%, т. е. 67240 кВт – в 50 раз меньше, чем в США [2,3].

Педагог, ученый, общественный деятель

В 1921 г. ректор Томского технологического института (в 1926 г. переименован в Сибирский технологический институт, а в 1934 г. – в Томский политехнический институт им. С.М. Кирова), профессор Н.В. Гутовский, учитывая многолетнюю деятельность С.А. Балакшина в области гидротурбиностроения, предложил ему стать руководителем студентов-дипломников, занимающихся проектированием гидросиловых установок. Приступив к новой работе, Сергей Александрович предложил для дипломных проектов такие темы, которые имели бы практическую ценность для дальнейшей инженерной деятельности выпускника. Студенты быстро полюбили нового преподава-

теля, приобрел он авторитет и среди своих коллег. В 1926 г. С.А. Балакшин был утвержден доцентом. Ему было поручено чтение курса «Гидравлические установки». Лекции ученого пользовались заслуженным успехом: в них содержалось много ценных сведений и материалов, накопленных С.А. Балакшиным за долгие годы практической работы в области гидротурбиностроения. Спустя много лет газета «Красное Знамя» в статье «У истоков сибирской гидроэнергетики» писала: «Тринадцать лет С.А. Балакшин принимал непосредственное участие в подготовке в гор. Томске новой советской интеллигенции, передавая молодым свои знания, навыки и любовь к Родине».

Одновременно с чтением лекций и руководством дипломным проектированием С.А. Балакшин ведет научно-исследовательскую работу. Систематически читая иностранные технические журналы, Сергей Александрович был всегда в курсе новостей мировой техники. Его заинтересовал новый тип быстроходной пропеллерной гидротурбины. В короткой заметке были очень малые, отрывочные сведения. И тогда С.А. Балакшин сам рассчитал основные узлы и разработал конструкцию пропеллерной турбины, сам сделал рабочие чертежи. Создав конструкцию быстроходной пропеллерной турбины, сделав и испытал ее модель, С.А. Балакшин стремился дать ей практическое применение. Несколько турбин, изготовленных полукустарным способом, ему удалось установить на мельницах вблизи Томска. Наряду с помолом муки турбины, соединенные с гидрогенераторами, обеспечивали мельницу и близлежащие строения электрическим освещением.

В ноябре 1923 г. группа уполномоченных села Горскино обратилась в Томский технологический институт с просьбой оказать помощь в электрификации села. Ученые института живо откликнулись на этот призыв. С.А. Балакшин спроектировал для Горскино быстроходную турбину пропеллерного типа мощностью 100 кВт. Изготовление турбины было поручено учебно-вспомогательным мастерским института. В июне 1924 г. турбина была испытана в гидравлической лаборатории института и в дальнейшем эксплуатировалась без капитального ремонта свыше 25 лет до подключения села к общесоюзной электросети. Большую помощь в электрификации Горскино оказал первый в нашей стране добровольческий студенческий строительный отряд, сформированный из студентов-комсомольцев старших курсов Томского технологического института. Пятнадцать студентов-добровольцев установили столбы и смонтировали в селе всю электропроводку, принимали участие и в строительстве здания гидроэлектростанции. Итак, находясь уже на преподавательской работе, С.А. Балакшин продолжал заниматься созданием новых турбин и вопросами гидроэнергетики. Он не терял связи и с Курганским турбиностроительным заводом. В 1927 г. завод за-

казал ему разработку рабочих чертежей нескольких типов пропеллерных турбин (письмо Курганского турбиностроительного завода от 20 июня 1927 г. № 922). Сергей Александрович выполнил просьбу курганских турбиностроителей и быстро разработал рабочие чертежи. Гидротурбина получила условный шифр «Богатырь-быстроход» конструкции С.А. Балакшина. Курганский турбиностроительный завод освоил и выпустил некоторое количество гидротурбин этого типа.

Активная деятельность С.А. Балакшина в области гидроэнергетики продолжалась много лет (1900-1933 гг.). При этом, разрабатывая конструкции и технологию изготовления гидротурбин, ведя научно-исследовательскую работу в этой области, он одновременно активно занимался подготовкой квалифицированных инженеров-гидроэнергетиков.

По роду своей деятельности С.А. Балакшин в течение многих лет был тесно связан с мельницами. Неудивительно, что он счел необходимым освоить все тонкости мукомольного дела. Он понимал, что Сибирь – одна из житниц страны, и ей нужны высококвалифицированные специалисты по переработке зерна. С.А. Балакшин обращается к руководству Томского технологического института с предложением организовать при институте кафедру мукомольного дела с лабораторией и опытной мельницей. Кафедра такая вскоре была создана, и ее возглавил С.А. Балакшин. Он сразу же приступил к чтению курсов по мукомольному делу, элеваторному хозяйству и взял на свои плечи основные хлопоты, связанные с открытием мукомольной лаборатории и с постройкой экспериментальной мельницы. При этом он по-прежнему вел курс «Гидроэнергетика».

В 1931 г. встал вопрос о переводе в Сибирь Московского мукомольного института. А так как в Сибирском (бывшем Томском) технологическом институте уже действовала кафедра мукомольного производства с лабораторией и опытной мельницей, то было решено перевести Московский мукомольный институт в Томск. В октябре 1931 г. на базе Московского мукомольного института и кафедры мукомольного производства Сибирского технологического института был создан Томский мукомольно-элеваторный учебный комбинат. С.А. Балакшин был утвержден профессором и заведующим элеваторной секцией кафедры технологии и механики мукомольного производства и элеваторного дела, а также заведующим проектным бюро по дипломному проектированию.

9 октября 1932 г. он писал сыну: «Относятся здесь ко мне хорошо как администрация, коллеги, так и студенты. Здесь я уже привык. МЭК – это все-таки и мое детище. По крайней мере, те, которые знают мою работу здесь, при встрече говорят: «Все-таки добились своего, ведь это – Ваше детище». Это приятно. Конечно, мною положено много труда на создание здесь базы Мукомольного института и Москва приехала к нам на готовый

фундамент. Мои ученики работают преподавателями по специальным предметам. Работа у меня теперь исключительно педагогическая. Никаких административных функций я стараюсь не брать. Число часов стараюсь свести до минимума, уделяя больше внимания литературной работе... Еще завелось небольшое детище – организуем журнал «Мукомольное и элеваторное дело Сибири и Урала». Первый номер уже почти составлен и дело за печатью. Мне пришлось здесь проявить много инициативы. Я люблю труд и он доставляет мне удовольствие. Но..., в общем жизнь идет скорее, чем было бы нужно, а особенно в то время, которое мы переживаем. Так много нужно потратить энергии, чтоб подготовиться к жизни, и, когда, казалось бы, только нужно начинать жить, жизнь уже начинает делать намеки, что не так-то далеко и конец» [2].

Деятельность профессора С.А. Балакшина в области мукомольного производства и элеваторного дела имела большое значение для развития экономики Сибири. Как известно, Сибирь в 30-х годах считалась в основном краем сельскохозяйственного производства. Неудивительно, что здесь остро ощущалась нехватка специалистов в сфере производства, в том числе в мукомольном и элеваторном деле. Подготовка необходимых кадров для этой отрасли народного хозяйства началась в Томском технологическом институте, где, как уже отмечалось, С.А. Балакшин организовал «мукомольную специальность». Поэтому он по праву считается одним из пионеров решения проблемы подготовки специалистов для советской сибирской мукомольной промышленности. «С.А. Балакшин, – писал профессор В.В. Алексеев, – известен как пионер крупного мукомольного производства в Сибири, автор оригинальных работ в этой области. Много сделал он для подготовки сибирских инженеров».

Результаты теоретических и экспериментальных исследований в области мукомольного дела С.А. Балакшин изложил в ряде научных работ. Особый интерес представляет его учебное пособие «Электрификация мельниц», предназначенное для студентов и инженерно-технических работников. Книга отразила богатый опыт ученого в области энергетики и явилась продолжением его работ в сфере мукомольного производства.

На всех этапах своего жизненного пути Сергей Александрович Балакшин занимал активную позицию в тех общественных процессах, которые проходили в стране и обществе. Общественная деятельность его достаточно многогранна.

В студенческие годы он, как и ближайшие его сверстники, был увлечен революционными настроениями. Во время учебы в Германии он был связан с социал-демократическими группами русских эмигрантов.

Брат его жены Елены Андреевны Константин Андреевич Ванюков в 1901 г. нелегально привез из Германии в Курган первые номера газеты «Искра».

Старшая сестра жены Екатерина Андреевна и ее муж А.А. Наумов за революционную деятельность были подвергнуты тюремному заключению.

19 октября 1905 г. С.А. Балакшин с женой участвовал в революционной демонстрации в Кургане, после чего был вызван в полицию на допрос. Как член Курганского отделения Московского сельскохозяйственного общества он присутствовал на экстренном заседании, посвященном обсуждению действий властей, разогнавших демонстрацию, и подготовке текста телеграммы протеста министру внутренних дел Витте.

В том же году С.А. Балакшина избрали гласным Курганской городской Думы. Спустя некоторое время он внес на рассмотрение Думы проект строительства в Кургане тепловой электростанции. Предложение С.А. Балакшина после длительных дискуссий было принято. В 1913 г. он был избран председателем подготовительной комиссии по этому вопросу, а на следующий год в Кургане была пущена электростанция, и город получил электрическое освещение одним из первых в Сибири.

Сергей Александрович выступил в городской Думе с предложением открыть в Кургане мужскую гимназию. В то время в городе имелась только женская гимназия, а мальчики учились в гимназиях и реальных училищах Челябинска, Екатеринбурга или Тюмени. С.А. Балакшин вошел в комиссию по строительству мужской гимназии и добился, что уже в 1911 году мужская гимназия функционировала в полном объеме. Ее директором был назначен опытный педагог Л.П. Дирдовский.

Понимая значение физического развития человека, С.А. Балакшин в 1910 г. организовал в Кургане спортивное общество. Оно быстро завоевало большую популярность среди городского населения, особенно у молодежи. Увлечение спортом, считал С.А. Балакшин, отвлекало молодых людей от таких пороков, как пьянство и хулиганство, и, кроме того, способствовало укреплению здоровья.

С первых дней установления в Томске Советской власти Сергей Александрович активно включился в общественную жизнь города. Энергичный и инициативный, ученый вносил свою лепту в деятельность различных общественных организаций. Он много раз выступал с докладами на научных съездах и конференциях, публиковал статьи по различным вопросам гидроэнергетики и мукомольного дела. Так, в 1926 г. он участвовал в работе Первого сибирского краевого научно-исследовательского съезда в Новосибирске. Ученый выступил на съезде с докладом «Белый уголь Сибири и возможности его использования». В 1927 г. С.А. Балакшина пригласили участвовать в подготовке Сибирской советской энциклопедии. Работая редактором раздела «Энергетические ресурсы и электростроительство», он написал ряд статей для этой энциклопедии.

Главными чертами характера С.А. Балакшина

были любознательность и пытливость, высоко развитое чувство нового, прогрессивного, трудолюбие и настойчивость, энергичность и организаторский талант, а также доброта, отзывчивость и общительность. Но основным стержнем всех этих черт была беспредельная любовь к Родине. С.А. Балакшин всегда считал Россию великой страной, где живет талантливый и трудолюбивый народ, страной, обладающей колоссальными ресурсами, достаточными для ее прогресса и процветания.

Труд в жизни С.А. Балакшина занимал главное место. Ученый трудился не жалея сил, его энтузиазм увлекал окружающих. Как говорил он сам, процесс труда доставлял ему большое удовлетворение. Самую трудную работу Сергей Александрович выполнял обычно утром – «на свежую голову». Он упорно добивался поставленной цели и начатое дело всегда стремился довести до конца. Так, решив однажды выучить несколько иностранных языков, ученый в течение всей своей жизни совершенствовал знания в этой области. В одном из писем к сыну в 1932 г. он писал: «Все еще продолжаю брать уроки французского языка и могу сказать сделал успехи – техническую литературу уже начал понимать довольно прилично. Большое удовольствие доставило мне вчера посещение читального зала Технологического института, когда я мог пользоваться техническими журналами на четырех языках».

С.А. Балакшин пользовался оригинальным способом изучения английского языка. На небольших одноформатных листках бумаги он выписывал отдельные слова, причем каждое слово на английском и русском языках, а также в английской транскрипции. Ежедневно он запоминал несколько слов и повторял их в любую свободную минуту, где бы ни находился: в транспорте, в приемной у руководства и т.п. В кармане у него всегда была небольшая тетрадь с английскими словами, рядом с которыми были нарисованы или наклеены картинки, соответствующие их значениям. Он не упускал случая поговорить на иностранном языке. Иногда к его сыну приходил товарищ – студент Сибирского технологического института, хорошо знавший английский язык. Сергей Александрович старался говорить с ним только по-английски.

С.А. Балакшина характеризовала высокая организация труда. Его рабочий день имел строгий распорядок. В его кабинете на видном месте висело изречение:

«Деньги потерять – немного потерять,
Честь потерять – много потерять,
Дух потерять – все потерять».

Этому изречению С.А. Балакшин остался верен до конца своих дней.

По мнению С.А. Балакшина, лучшим отдыхом являлась перемена характера работы. Поэтому «чисто свободного времени» у него было мало. Но и его ученый посвящал изучению языков, игре на скрипке, прогулке на природе. Он любил жизнь во всех ее проявлениях.



Рисунок 12.1 – Борис Сергеевич Балакшин, д-р техн. наук, профессор, лауреат Ленинской премии



Рисунок 12.2 – Сергей Александрович Балакшин, 20-е годы

Уместно сказать несколько слов о семье С.А. Балакшина. Его жена, друг и помощник Елена Андреевна Балакшина (урожденная Ванюкова, 1877-1932) окончила Пермскую женскую гимназию, много работала, занимаясь самообразованием. Она изучила немецкий язык, знание которого усовершенствовала, живя с мужем в Германии. Будучи умной, доброй женщиной, она всегда поддерживала мужа и своим мягким характером сглаживала его некоторую вспыльчивость. Ф.Ф. Вотяков, ученик и помощник Балакшина, в своих воспоминаниях писал: «Особенно душевная женщина была Елена Андреевна. Я никогда за 18 лет не слышал от нее слова упрека, а также никогда она не бранилась. Всегда была спокойна. Бывало, Сергей Александрович разволнуется чем-либо, а она его успокаивала, обращаясь к нему на немецком языке». Елена Андреевна помогала мужу во всех его начинаниях. Наиболее сильно он почувствовал это в последние годы их совместной жизни, когда она занималась систематизацией, литературной обработкой, редактированием и размножением работ ученого, окружив его при этом заботой и вниманием. Человек высокой культуры, чуткая, доброжелательная, мягкая и отзывчивая, Е.А. Балакшина пользова-

лась всеобщим уважением и любовью. Она и муж вырастили четверых детей, воспитали их, дав им всем высшее образование и сделав их полезными гражданами нашей страны. Е.А. Балакшина умерла в возрасте 55 лет от сердечного приступа.

Дети Балакшиных продолжали семейные традиции – работали творчески и добросовестно.

Старший из сыновей Борис Сергеевич (1900-1974 гг.) – инженер-механик, активный участник создания советской станкостроительной промышленности. Он профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, почетный доктор – инженер Дрезденского политехнического университета, лауреат Ленинской премии 1972 г. Длительное время был заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Московского станкоинструментального института (рисунок 12.1).

Начало трудовой деятельности Бориса Сергеевича Балакшина связано с заводом в Кургане. Именно здесь он получил хорошее представление обо всех рабочих профессиях, поработав в литейном и механическом цехах, получив знания по сборке машин. Впоследствии это сыграло свою роль в формировании его как инженера и ученого. Б.С. Балакшин стал одним из основателей отечественной школы технологии машиностроения, автором всемирно известной теории размерных цепей. Им написано 26 книг и учебников, многие из которых переведены и опубликованы на английском, немецком и других языках.

Борис Сергеевич студенческие годы провел в Томске.

Другой сын Александр (1905-1985 гг.) – радиоинженер, автор ряда прогрессивных радиоприборов, внесший большой вклад в дело внедрения радиотехники в кинопромышленность, за конструкцию радиоприемника «Волна» награжден золотой медалью на Всемирной выставке в Брюсселе в 1958 г. (рисунок 12.2)



Рисунок 13 – Евгения Сергеевна, Александр Сергеевич, Маргарита Сергеевна Балакшины и профессор Б. Федоров на 80-летию завода «Кургансельмаш». 1980 г.

Известны его работы по электровакуумным приборам и по усилительным устройствам звукового кино. О себе он писал: «Первые трудовые навыки я получил на Курганском турбинном заводе в детстве. Эти навыки и интерес к технике помогли мне успешно работать в течение всей

моей жизни». Александр Сергеевич – автор книги о жизни и деятельности С.А. Балакшина «Сергей Александрович Балакшин, 1877-1933».

Дочь Евгения (1902-1991 гг.) – архитектор, доцент. Она участвовала в проектировании ведущих строек первых пятилеток на Урале (Уралмаш, Магнитка) и ряда объектов в Москве (Фрунзенская набережная, Комсомольский проспект, стадион в Лужниках). После смерти брата Александра Сергеевича дописывала книгу о жизни и деятельности отца.

Вторая дочь Маргарита (1903-1996 гг.) – врач, кандидат медицинских наук. Успешно работала в медицинских учреждениях Новосибирска, Томска и Москвы.

В доме Балакшиных часто устраивались семейные концерты. При этом Сергей Александрович играл на скрипке, а Елена Андреевна аккомпанировала ему на фортепьяно. В таких концертах обычно принимали участие и остальные члены семьи. В театр и кино Балакшины ходили редко. Елена Андреевна страдала сердечным заболеванием. Редко ходили они и в гости, в основном бывали у родственников. Зато к Балакшиным гости заходили часто. В основном это были артисты местной оперы и оперетты, профессора томских вузов, студенты – друзья детей Балакшиных. Вечера проходили интересно и весело. Вино и пиво к столу не подавались (С.А. Балакшин никогда не употреблял спиртных напитков). Основным угощением были домашние блюда, мастерски приготовленные искусной кулинаркой, какой была Елена Андреевна.

Летом в выходные дни Балакшины любили выезжать за город на автомобиле, который вел сам Сергей Александрович (рисунок 14). Случалось, что отправлялись просто на телеге, на которую грузили корзины с продуктами и обязательно самовар. Обычно останавливались на берегу речки или на опушке леса. Домой в город возвращались поздно вечером. Иногда семья Балакшиных снимала дачу в какой-нибудь деревне. Здесь дети вместе с матерью жили все лето, а отец приезжал вечером под выходной.



Рисунок 14 – Первый легковой автомобиль в окрестностях Кургана. С.А. Балакшин и Елена Андреевна Балакшина

Напряженный, повседневный и многолетний труд не мог не сказаться на здоровье учено-

го. 23 июня 1933 г. в возрасте 56 лет профессор С.А. Балакшин скоропостижно скончался. На другой день томская областная газета «Красное Знамя» поместила некролог, посвященный памяти Сергея Александровича, а Мукомольно-элеваторный учебный комбинат, где он был штатным профессором, опубликовал по поводу этого печального события отзыв о его делах.

Сергей Александрович Балакшин прожил весьма интересную, насыщенную событиями жизнь. Он сделал много полезного для нашей Родины, которую любил беспредельно. Его многогранная деятельность может служить примером для подрастающего поколения. С.А. Балакшин, коренной сибиряк, уроженец Курганского уезда, посвятил свою жизнь развитию Сибири. Его путеводной звездой на этом поприще стали замечательные слова А.Н. Радищева: «Как богата Сибирь своими природными богатствами! Какой это мощный край! Нужны еще века, но как только она будет заселена, ей предстоит сыграть большую роль в летописях мира».

Четыре поколения Балакшиных честно и преданно, как большие патриоты служили своей стране, своей Родине, каждый в меру своих сил, таланта и возможностей. Они внесли достойный вклад в развитие Сибири и нашего Зауралья.

К развитию отечественной науки и образования имеют отношение и внуки Сергея Александровича Балакшина — это уже пятое поколение Балакшиных. Отметим только некоторых из них [5].

Александр Борисович Балакшин (сын Бориса Сергеевича) – ветеран Великой Отечественной войны, полковник в отставке, кандидат технических наук, преподаватель артиллерийской академии в Пензе.

Олег Борисович Балакшин (второй сын Бориса Сергеевича) – доктор технических наук, занимается проблемами биомеханики, автор нескольких книг, начальник отдела в АН РФ.

Игорь Алексеевич Михайлов (сын Маргариты Сергеевны) – геолог, кандидат геологических наук. Проводил геологические изыскания на Алтае, в Китае, Сирии, Египте, Марокко.

Кира Константиновна Карташова (дочь Евгении Сергеевны) – доктор архитектуры, профессор МАРХИ, действительный член Международной академии информатизации, член Союза архитекторов РФ и Географического общества при АН РФ, была председателем градостроительной комиссии Моссовета.

Кира Константиновна является хранителем семейного архива, поддерживает связь с Курганом и посещала его.

Список литературы.

1 *Малыревский Г. Я. Сведения о Союзе Сибирских маслодельных артелей с диаграммами. Курган : Типография «Народной газеты», 1917.*

2 *Балакшин А. С. Сергей Александрович Балакшин, 1877-1933. М. : Наука, 1990. 112 с.*

3 *Бубнов В. А. Развитие машиностроения в Зауралье. Курган : Изд-во «Зауралье», 2000. 478 с.*

4 *Васильева А. М. Забытый Курган : Изд-во «Зауралье», 1997. 359 с.*

5 *Бубнов В. А. Балакшины. В сельскохозяйственной операции, машиностроении, науке и образовании// Вестник Курганского государственного университета. 2016. №3 (42). Серия «Технические науки». Вып. 11. С. 6-20.*

УДК 94: 378.662.014.24(571.16)

П.С. Чубик, С.И. Никифоров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

С.А. БАЛАКШИН В ГОДЫ РАБОТЫ В ТОМСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

Аннотация. В статье изложены сведения о томском периоде жизни известного сибирского инженера, промышленника, ученого и педагога Сергея Александровича Балакшина. Значительный отрезок этого периода связан с преподавательской и исследовательской работой в Томском технологическом институте. С.А. Балакшин – организатор исследования энергетических возможностей рек Сибири, основатель направления по подготовке инженеров мукомольного дела в ТТИ.

Ключевые слова: Сергей Александрович Балакшин, Томский технологический институт, гидроэнергетика, мукомольное дело.

P.S. Chubic, S.I. Nikiforov
Tomsk Polytechnic University

S.A. BALAKSHIN DURING YEARS OF EMPLOYMENT AT TOMSK STATE TECHNOLOGICAL INSTITUTE

Annotation. The article presents information about the Tomsk period lifetime of Sergei Alexandrovich Balakshin, a famous Siberian engineer, industrialist, scientist and teacher. A significant part of this period was associated with teaching and research at the Tomsk Technological Institute. S. A. Balakshin organized research on the energy opportunities of Siberian rivers and founded a programme to train flour milling engineers at TTI.

Keywords: Sergei A. Balakshin, Tomsk Technological Institute, hydropower, flour milling.

С Томском и Томским технологическим институтом (ТТИ, ныне – Томский политехнический университет) связана последняя четверть жизни Сергея Александровича Балакшина. Приехав в Томск во времена лихолетья Гражданской войны в возрасте 42 лет, он уже не покидал этот город

до самой смерти в 1933 году. Будучи известным промышленником и инженером, организатором и руководителем первого сибирского машиностроительного предприятия – Курганского завода по производству гидротурбин, в томский период он проявил себя в новом качестве, став ученым и педагогом, организатором исследования и использования водных ресурсов Сибири, специалистом в области электрификации, гидроэнергетики, мукомольного производства, участником планирования развития производительных сил Зауралья в первые годы Советской власти.

Об обстоятельствах его приезда в Томск известно немного. В биографической книге о Балакшине его сын Александр Сергеевич Балакшин пишет: «Осенью 1919 г. С.А. Балакшин был мобилизован как инженер в белую армию и вынужден был покинуть Курган. Но на службу он не попал, заболев по дороге сыпным тифом. Жена, приехавшая ухаживать за ним, вскоре также подхватила сыпняк. В ноябре 1919 г., едва оправившись от болезни, они выехали в Томск, где в то время у родственников жили их дети» [1].

Изучение некоторых архивных и биографических источников позволяет нам сделать вывод о том, что выбор Томска новым местом жительства был для С.А. Балакшина не случайным. Здесь у него имелись влиятельные друзья и коллеги. В частности с ректором Томского технологического института, профессором механики И.И. Бобарыковым (он возглавлял институт в 1916-1919 годах) он был знаком еще со времен учебы в политехническом институте Шарлоттенбурга (Германия). В 1898 году Балакшин завершал в нем обучение, а Бобарыков находился там на стажировке. В 1914 году завод Балакшина посетила группа представителей Российского технического общества, в составе которой был профессор ТТИ А.А. Потеня. По итогам визита им был подписан восхищенный отзыв (рисунок 1).

Связывали Сергея Александровича с Томском и Томским технологическим институтом родственные связи. Первым выпускником химического отделения ТТИ 1906 года был родной брат жены С.А. Балакшина Елены Андреевны Владимир Андреевич Ванюков. С Ванюковыми С.А. Балакшин был не только в родстве, но и в тесных деловых взаимоотношениях (тесть Балакшина, отец Владимира и Елены, курганский купец Андрей Порфирьевич Ванюков состоял с Сергеем Александровичем в компаньонах в товариществе «Балакшин, Ванюков и Ко»; земельный участок, на котором был выстроен Курганский завод Балакшина, принадлежал Ванюковым). Окончив Томский технологический институт, Владимир Ванюков был оставлен в вузе на кафедре металлургии для приготовления к профессорскому званию, преподавал, а в 1910 году отправился от института в длительную зарубежную стажировку. И хотя в 1919 году Ванюков в Томске отсутствовал, здесь в тот момент жили

родственники его жены Анны – семья ее брата, инженера Ивана Ивановича Широких (супруга Вера Николаевна Наумова-Широких, будущий директор Научной библиотеки Томского государственного университета, и двое сыновей, будущие выпускники ТТИ). Видимо, именно у них нашли пристанище в Томске дети С.А. Балакшина, а позже и он сам со всем своим семейством.

Томск был притягателен для Сергея Александровича возможностью дать высшее образование своим детям. Их у Балакшиных было четверо, и все они в итоге стали студентами томских вузов.

В архиве Томского политехнического университета сохранились личные дела сына и дочери Сергея Александровича Бориса и Евгении Балакшиных. Из содержащихся в них документов следует, что в сентябре 1919 года они оба были зачислены в число студентов ТТИ, но вовремя приступить к занятиям не смогли, каждый по своей причине. Борис был мобилизован в колчаковскую армию, успел послужить рядовым в автомобильном дивизионе в Томске, затем учился в автошколе. Евгения предоставила ректору института справку, датированную октябрём 1919 года, в которой говорится: «Сим удостоверяю, что дочь инженера Балакшина из Кургана – Евгения Сергеевна Балакшина, не могла выехать из Омска ранее 4-го сего октября по случаю опасной болезни своего отца Сергея Александровича Балакшина, болеющего сыпным тифом. Сие подписью своею удостоверяю: В. Рахманов, лечивший Балакшина врач» [2].

На медицинский факультет Томского университета поступила младшая дочь С.А. Балакшина, 16-летняя Маргарита. Младшему сыну Александру на момент приезда Балакшиных в Томск исполнилось 14 лет. Вскоре он станет учащимся Томского политехникума, а затем студентом ТГУ.

Из архивных источников известен адрес, по которому проживала в 20-е годы в Томске семья Балакшиных – ул. Садовая, 6, квартира 2 (дом сохранился до наших дней, после смены нумерации он находится по адресу: пр. Ленина, 61) (рисунок 2).

О том, что С.А. Балакшин был в Томске фигурой известной и авторитетной, свидетельствует та быстрота, с которой он нашел новое применение своим организаторским способностям. 20 декабря 1919 года город заняла Красная армия, в Томской губернии была восстановлена советская власть. Не теряя ни дня, Сергей Александрович создал инициативную группу, в состав которой вошли профессор и сотрудники ТТИ В.Н. Пинегин, М.А. Великанов, М.Н. Орлов, Г.Г. Поварнин и др. Уже 9 января 1920 года эта группа направила в совнархоз Томского губисполкома докладную записку, в которой предлагалось открыть специальный отдел по исследованию и использованию рек для нужд электрификации. 20 января Томский губисполком принял это предложение и поручил С.А. Балакшину организовать и возглавить подотдел гидравлических установок при отделе го-

сударственных сооружений Томского совнархоза. Через полгода усилиями Сергея Александровича в Томске была создана структура с более широкими задачами и полномочиями – Специальное бюро по исследованию и использованию водных сил Сибири (Сибисполвод). Ее также возглавил С.А. Балакшин.

Сибисполвод под руководством С.А. Балакшина в 1920-1923 годах проделал большую работу по изучению природных богатств Сибири. К этой работе были привлечены томские ученые и специалисты различного профиля (профессора ТТИ В.Н. Пинегин, А.А. Потебня, ректор ТГУ А.П. Поспелов, профессор В.В. Сапожников и др.). Были созданы филиалы Бюро в Иркутске, Красноярске, Семипалатинске, Бийске, организованы экспедиции для обследования сибирских рек (в них участвовали в том числе и студенты ТТИ Борис и Евгения Балакшины). Исследованы энергетические возможности рек Сибири, впервые сформулированы многие важные положения развития гидроэнергетики края, определены места постройки гидроэлектростанций. Работы Сибисполвода легли в основу плана ГОЭЛРО в части, касающейся электрофикации Сибири. В частности в результате работ, проведенных экспедициями Бюро, и благодаря его рекомендациям в план ГОЭЛРО было включено строительство Ульбинской ГЭС (Восточный Казахстан). Она была сооружена в период 1925-1934 годов, имела мощность 27 тыс. кВт и долгое время являлась крупнейшей гидроэлектростанцией Казахстана.

С.А. Балакшиным был составлен первый водноэнергетический кадастр сибирских рек. Он был опубликован в работе «Запас водных сил Сибири (кадастр)» (Бюллетень Сибисполвода, №2, с. 22-39 и 45-55). В ней Сергей Александрович показал, что в Сибири имеется 38000 МВт гарантированных запасов водной энергии, и она занимает по этому показателю первое место в мире. При этом использовалась эта энергия на тот момент всего на 0,2%.

В 1921 году Сергей Александрович становится штатным преподавателем Томского технологического института. По предложению ректора Н.В. Гутковского он руководил дипломным проектированием по гидросиловым установкам, читал курс по гидроэнергетике. В том же году по инициативе С.А. Балакшина в ТТИ началась подготовка первых сибирских инженеров по мукомольному делу (рисунок 3). Сергей Александрович создал в институте специальную мукомольную лабораторию, а позже кафедру мукомольного дела, вел лекционные курсы «Мукомольные мельницы», «Технология зерна», «Элеваторы и склады».

Вот как он обосновывал необходимость создания мукомольного направления в Томском технологическом институте. «По всей обширной территории Сибири, – писал он в газете «Красное знамя», – до сих пор не было не только ни од-

ной специальной мукомольной школы, но даже и здесь, в Томске, старом центре сибирского просвещения, не читался курс мукомольного дела. А между тем мукомольная промышленность является одной из главных промышленностей Сибири, причем промышленность эта имеет колоссальную будущность» [3].

По просьбе С.А. Балакшина Томский губ-продком предоставил в распоряжении мукомольной лаборатории ТТИ необходимое оборудование: обойку, вальцовку, рассев, вейку, щеточную машину и др. Правление института выделило средства на приобретение приборов по испытанию зерна и муки. Появилась возможность проводить со студентами практические занятия по испытанию зерна с определением его влажности, засоренности, всхожести, контролю качества муки вплоть до пробной выпечки хлеба. В лаборатории были собраны образцы хлебов и муки из разных регионов Западной Сибири, что, по словам С.А. Балакшина, стало, «с одной стороны, хорошим наглядным пособием для студентов, а с другой – возможностью производить испытания зерна и муки по поручениям правительственных учреждений, кооперативов и т.п.»

С.А. Балакшин достаточно быстро стал признанным специалистом в области мукомольного производства. Он дважды, в 1923 и 1926 годах, участвует во Всероссийском съезде мукомолов, на последнем его избирают членом Всероссийского научно-технического совета по мукомольному и хлебопечному делу. В 1927 году Сергей Александрович по поручению Сибплана составляет пятилетний генеральный план развития мукомольной промышленности Сибири [4].

При этом он не оставляет и своей любимой темы, связанной с гидроэнергетикой и гидротурбиностроением. В 20-е годы С.А. Балакшин принимает активное участие в разработке 15-летнего плана электрификации Сибири. В конце 1923 – начале 1924 года им была спроектирована быстроходная турбина пропеллерного типа мощностью 100 кВт для гидроэлектростанции в селе Горскино Томской губернии. Турбина была изготовлена в учебно-вспомогательных мастерских ТТИ (будущий завод «Машинстрой»), испытана в гидравлической лаборатории института и установлена на реке Ур у села Горскино. Электротехническую часть проекта электростанции выполнил преподаватель В.А. Надежницкий, в расчетах по проекту участвовал доцент ТТИ Н.А. Балакин, в работах по ее строительству приняли участие студенты-технологи. Электростанция заработала в конце 1924 года и функционировала свыше 25 лет. Это была первая сельская гидроэлектростанция Сибири.

Работая в Томском технологическом институте, Сергей Александрович не оставлял без внимания родной Курганский турбиностроительный завод. В 1927 году по заказу курганцев он сделал рабочие чертежи нескольких типов пропеллер-

ных гидротурбин. В 1929 году также по просьбе Курганского завода он спроектировал открытую вертикальную гидротурбину мощностью 370 кВт.

В 1924 году С.А. Балакшин по поручению Томского совнархоза возглавляет работы по обследованию томских предприятий для выяснения причин их нерентабельности. В 1924-1925 годах он становится членом Сибплана, заведующим промышленно-транспортной секцией Томского губплана. В 1927 году участвует в качестве редактора отдела «Энергетические ресурсы и электростроительство» в подготовке Сибирской Советской энциклопедии (в первом томе которой, к слову, имеются статьи о нем самом и его отце, видном организаторе маслодельной промышленности Сибири А.Н. Балакшине). В этот период в томских и новосибирских газетах регулярно появляются заметки и статьи за подписью «Инженер С. Балакшин», посвященные электрификации Сибири, вопросам научно-технического прогресса и научной организации труда.

В 1926 году С.А. Балакшин утвержден доцентом Сибирского (Томского) технологического института. Под его руководством активно развиваются мукомольные кафедра и лаборатория, выполняются научные исследования по этому направлению, конструируются оригинальные приборы и установки, ведется подготовка специалистов. В «Известиях Сибирского технологического института» публикуются его статьи «Исследования крупности продуктов», «Исследование крупности муки фариногранометром» (том 50, вып. 1, 1929 г., с. 1-16, 17-20), в издательстве «Красное знамя» – труд «Электрификация мельниц» (Томск, 1930 г. 122 с.).

В 1931 году завершился десятилетний период работы Сергея Александровича Балакшина в Томском (с 1926 года – Сибирском) технологическом институте. К этому времени сам институт был раздроблен на несколько отраслевых вузов (механический, химико-технологический, строительный, горный и т.д.). На базе кафедры, возглавляемой С.А. Балакшиным, и переведенного в Томск Московского мукомольного института был образован Томский научно-производственный мукомольно-элеваторный комбинат системы «Союзхлеб». Сергей Александрович был утвержден в нем профессором и заведующим элеваторной секцией кафедры технологии и механики мукомольного производства и элеваторного дела. Преподавательский состав кафедры был в основном укомплектован его учениками, выпускниками ТТИ (СТИ).

В новом качестве С.А. Балакшину довелось поработать недолго. 23 июня 1933 года в 8 часов утра он скоропостижно скончался. Ему было 56 лет. В некрологе, помещенном в газете

«Красное знамя» (№129 от 29 июня 1933 г.), было сказано: «Проф. Балакшина по праву следует считать одним из пионеров разрешения проблемы кадров для советского сибирского мукомолья, не покидавшего этой работы до конца своих дней...».

Период деятельности Сергея Александровича Балакшина в Томском (Сибирском) технологическом институте оказался плодотворным, ярким, интересным. За десять лет научной и преподавательской работы в вузе он сформировался в большого ученого, талантливого педагога, выдающегося организатора высшей школы.

Отметим, что достойными наследниками талантов и способностей своего отца стали его дети – выпускники Томского технологического института Борис Сергеевич и Евгения Сергеевна Балакшины. Борис Балакшин, окончив в 1924 году механический факультет ТТИ, в последующем жил и работал в Москве, стал профессором Московского станкостроительного института (СТАНКИН), лауреатом Ленинской премии 1972 года «за исследование новых путей повышения точности и производительности обработки на станках с использованием адаптивных систем управления». Евгения, в том же 1924 году окончив инженерно-строительный факультет ТТИ, стала архитектором, участвовала в проектировании Магнитки и Уралмаша, Фрунзенской набережной и стадиона в Лужниках в Москве (рисунок 4). Замуж она вышла за сына бывшего директора и профессора ТТИ Н.Н. Карташова Константина Николаевича Карташова, тоже выпускника Томского технологического института, в последующем – академика Академии архитектуры и строительства СССР, директора Московского НИИ бетона и железобетона. Именно Евгения Сергеевна завершила книгу в память об отце «Сергей Александрович Балакшин», которую начал писать младший брат Александр, но не успел закончить из-за смерти [5]. Книга вышла в 1990 году в издательстве «Наука».



Рисунок 1 – Балакшин в лаборатории ТТИ



Рисунок 2 – Дом, в котором в томске жили Балакшины (ныне пр. Ленина, 61)



Рисунок 3 – Мукомольная лаборатория ТТИ 1925 г., слева – С. Балакшин

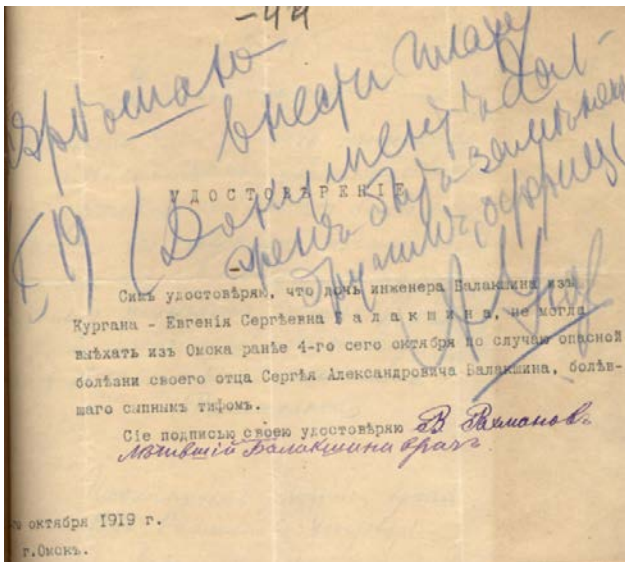


Рисунок 4 – Удостоверение дочери Балакшина

Список литературы

- 1 Балакшин А. С. Сергей Александрович Балакшин (1877-1933). М. : Изд-во «Наука», 1990. Академия наук СССР. Серия «Научно-биографическая литература». С. 39.
- 2 Архив ТПУ. Ф. 816. Оп. 4. Д. 9.
- 3 Красное знамя. 1923. от 4 ноября.
- 4 Лозинский Ю. М. Старейший технический факультет Сибири: История создания и развития. Томск : Изд-во НТЛ, 2000. С. 288-293.

5 Сто двадцать выдающихся политехников: биографические очерки / Ю. С. Буркин, С. И. Никифоров, С. Ю. Чернозубенко и др. ; под ред. С.И. Никифорова ; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. С. 160-162.

УДК 621.3

В.А. Савельев
Курганский государственный университет

С.А. БАЛАКШИН И МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Аннотация. В статье изложен обзор работ С.А. Балакшина по использованию гидравлических турбин различного назначения для небольших водотоков, реализации и развития этого направления в современной гидроэнергетике. Малая энергетика – наиболее экономичное решение по обеспечению электроэнергией удалённых и энергодефицитных регионов, обладающих гидрологическим потенциалом.

Ключевые слова: турбина, энергия, водоток, малая энергетика.

V.A. Savelyev
Kurgan State University

S.A. BALAKSHIN AND SMALL-SCALE POWER GENERATION

Annotation. The article is a review of S.A. Balakshin works about usage of hydraulic turbines of different function for small water currents, a realization and development of this direction in modern hydropower. Small-scale power generation is the most energy-efficient solutions of electricity supply for the far-field and power-hungry regions having hydrological potential.

Keywords: turbine, energy, water current, small-scale power generation.

Юго-Западная Сибирь, к которой можно отнести и наше Зауралье, во второй половине XIX – начале XX столетия имела сравнительно развитое сельское хозяйство. Интенсивно развивалось растениеводство и животноводство. Это создавало условия для развития перерабатывающей промышленности. Толчком к активному развитию региона явился пуск Транссибирской железнодорожной магистрали, которая приблизила Сибирь к Европейской части России и Европе.

Курганский уезд Тобольской губернии стал местом возникновения первого машиностроительного предприятия инженера Сергея Александровича Балакшина. После окончания в 1899 году политехнического института в Германии он возвращается на Родину и открывает механические мастерские, которые становятся основой развития

машиностроительного производства в Зауралье. Для переработки продуктов сельского хозяйства требовалось много различного оборудования и механизмов. В 1904 году «Чугуномеднолитейный и механический завод инженера С.А. Балакшина» на окраине Кургана стал выпускать оборудование для маслодельных предприятий [1]. Источников энергии для работы предприятий, перерабатывающих продукты сельского хозяйства, в то время было немного. В основном это были ручные, конные, гидравлические и паровые машины. С.А. Балакшин задумывается об изготовлении более совершенных гидравлических турбин для таких производств. Они в России не производились, а заграничные стоили очень дорого и для широкого потребления были малодоступны. Купец К.М. Дунаев приобрёл для своей мельницы в окрестностях Кургана гидротурбину фирмы «Эрлангер» и предложил Балакшину установить и запустить её [2]. Этот опыт впоследствии пригодился Сергею Александровичу при разработке конструкции своей турбины. Специалистов по конструированию и изготовлению турбин найти не удалось, и он сам спроектировал конструкцию турбины радиально-осевого типа с вертикальным расположением колеса. В 1905 году по чертежам, разработанным Балакшиным, была изготовлена первая турбина на Курганском турбостроительном заводе. Турбина была установлена на мельнице в Кокчетавском уезде (Казахстан). Вторая турбина была установлена на реке Куртамыш. В 1905-1919 гг. на Курганском заводе С.А. Балакшина было изготовлено около тысячи турбин различной компоновки мощностью от 1,0 до 300 кВт, с рабочим напором от 0,5 до 4,5 м и расходом воды – до 9 м³/сек. [2]. Коэффициент полезного действия составлял около 80%. На заводе изготовлялось также оборудование для размола зерна в комплекте с гидроприводом. Курганские турбины получили признание за рубежом и были отмечены медалями на выставках во Франции и Швеции.

После революции Курганский турбинный завод продолжил выпуск водяных турбин для различных потребителей, в том числе и для производства электрической энергии. В селе Звериноголовском в 1925 году была построена первая в Зауралье сельская гидроэлектростанция [3]. В начале тридцатых годов встал вопрос об изготовлении более мощных турбин, но было принято решение о нецелесообразности производства гидроагрегатов, и завод перепрофилировали на производство сельскохозяйственных машин.

В 1919 году С.А. Балакшин покидает Курган и обосновывается в Томске. Работая в Томске, Сергей Александрович занимался преподавательской деятельностью в учебных заведениях, консультировал по вопросам проектирования и изготовления гидроагрегатов различного назначения, активно участвовал в исследовании возможностей использования энергии больших и малых рек Сибири. Результаты этих исследований позволи-

ли включить в план ГОЭЛРО и Западную Сибирь. В 1925-1934 гг. по этому плану была построена Ульяновская ГЭС (Алтайский край) мощностью 27 тыс. кВт. Строительство малых ГЭС было продолжено, а в дальнейшем были сформулированы направления развития гидроэнергетики Сибирского края, в том числе и в трудах С.А. Балакшина «Запасы водных сил Сибири», «Вопросы энергетики Сибири», определены места строительства мощных ГЭС на крупных реках [2].

Гидроэнергетический потенциал крупных рек во многом исчерпал себя в нашей стране с постройкой на них мощных ГЭС. Постоянный рост цен на органическое топливо приводит к значительному удорожанию электрической энергии, доля которой в себестоимости производимой продукции достигает 20 и более процентов [3].

Одним из перспективных направлений развития энергетики является использование энергии небольших водотоков с помощью микро- и малых ГЭС. Это объясняется значительным потенциалом таких водотоков при сравнительной простоте их использования. Исследованиями в этой области и занимался С.А. Балакшин.

Современная гидроэнергетика по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии.

Малая гидроэнергетика идет в этом направлении еще дальше. Небольшие электростанции (рисунок 1) позволяют сохранять природный ландшафт, окружающую среду не только на этапе эксплуатации, но и в процессе строительства. При последующей эксплуатации отсутствует отрицательное влияние на качество воды: она полностью сохраняет первоначальные природные свойства. В реках сохраняется рыба, вода может использоваться для водоснабжения населения.



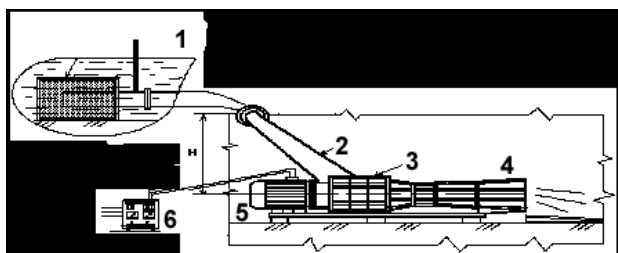
Рисунок 1 – Внешний вид микро ГЭС

Объекты малой гидроэнергетики условно делят на два типа: «мини» (обеспечивающие единичную мощность до 5000 кВт), и «микро» (работающие в диапазоне от 3 до 100 кВт) [3].

Использование гидроэлектростанций таких мощностей для России вовсе не новое, а хорошо забытое старое: в 40-60-х годах у нас работало несколько тысяч малых ГЭС. Сегодня их количество едва достигает нескольких сотен штук. На этом фоне малая гидроэнергетика обретает новую жизнь.

Гидроагрегаты микро ГЭС эксплуатируются в широком диапазоне напоров (2-10 м) и расходов (0,07-0,8 м³/с) с высокими энергетическими характеристиками (мощностью от 10 до 50 кВт) [3]. Микро ГЭС – надежные, экологически чистые, компактные, сравнительно быстро окупаемые источники электроэнергии для деревень, хуторов, дачных поселков, фермерских хозяйств, а также мельниц, хлебопекарен, небольших производств в отдаленных, горных и труднодоступных районах, где нет поблизости линий электропередач, а строить такие линии сейчас и дороже, и дороже, чем приобрести и установить микро ГЭС.

В комплект поставки микро ГЭС (рисунок 2) входят: энергоблок (гидротурбина и электрогенератор 3,5), всасывающий трубопровод с водозаборным устройством (1,2), выпускной коллектор (4), блок автоматического регулирования (6). Гидроагрегаты для малых и микро ГЭС выпускаются с пропеллерными, радиально-осевыми и ковшовыми турбинами. Проточные части всех турбин разрабатываются с использованием метода математического моделирования.



1 – впускной коллектор с фильтром; 2 – водозаборное устройство; 3 – гидротурбина; 4 – выпускной коллектор; 5 – электрогенератор; 6 – блок автоматического регулирования
Рисунок 2 – Схема конструкции микро ГЭС

Малая энергетика – это на сегодняшний день наиболее экономичное решение энергетических проблем для территорий, относящихся к зонам децентрализованного электроснабжения, которые составляют более 70% территории России. Обеспечение энергией удаленных и энергодефицитных регионов требует значительных затрат. И здесь далеко не всегда выгодно использовать мощности существующей федеральной энергосистемы. Гораздо экономичнее развивать мощности малой энергетике, экономический потенциал которой в России превышает потенциал других возобновляемых источников энергии.

Проектированием и разработкой оборудования для таких ГЭС занимаются многие российские научно-производственные организации и фирмы. Одна из крупнейших – межотрасле-

вое научно-техническое объединение «ИНСЭТ» (Санкт-Петербург). Специалистами «ИНСЭТ» разработаны и защищены патентами оригинальные технические решения систем автоматического управления малыми и микро ГЭС. Использование таких систем не требует постоянного присутствия на объекте обслуживающего персонала — гидроагрегат надежно работает в автоматическом режиме. Система управления может быть выполнена на базе программируемого контроллера, который позволяет визуально контролировать параметры гидроагрегата на экране компьютера. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на подобной ГЭС, составляет не более 0,45-0,5 рублей за 1 кВт·ч. Стоимость строительно-монтажных работ малой ГЭС составляет порядка 14,5-15,0 млн рублей, и она может быть введена в эксплуатацию за 15-18 месяцев [3].

Наряду с традиционной энергетикой изучаются возможности использования возобновляемых источников энергии, таких как ветер, солнце. Однако себестоимость электрической энергии, получаемой на ветроэнергетических установках ВЭУ, составляет 1,40-1,55 руб./кВт·ч, а получаемой на геотермических установках ГЭУ составляет 0,775-0,961 руб./кВт·ч.[4]. Таким образом, использование малых и микро ГЭС становится экономически выгоднее других способов преобразования энергии при наличии гидрологического потенциала в регионе.

Исследования и опыт работы С.А. Балакшина приумножаются современными машиностроителями и учеными в области гидро- и электроэнергетики, в том числе и нашего университета. Мы гордимся нашим земляком.

Список литературы

- 1 Бубнов В. А. Перерабатывающий комплекс Зауралья. Его прошлое и настоящее. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. 436 с.
- 2 Бубнов В. А. Развитие машиностроения в Зауралье. Курган : Изд-во «Зауралье», 2000. 480с.
- 3 URL: <https://ecoteco.ru/id32>
- 4 Сажин В. Н. Пути обеспечения энергоресурсами сельскохозяйственного производства в условиях Курганской области : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2005. 180 с.

*В.А. Тимирязев, А.А. Кутин
Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»*

ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО УЧЕНОГО- ТЕХНОЛОГА, ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ РСФСР, ЛАУРЕАТА ЛЕНИНСКОЙ ПРЕМИИ, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА БОРИСА СЕРГЕЕВИЧА БАЛАКШИНА

Аннотация. Статья посвящена памяти выдающегося отечественного ученого-технолога, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, Лауреата Ленинской премии, доктора технических наук, профессора Бориса Сергеевича Балакшина.

Ключевые слова: память, ученый, наука, технолог, лауреат.

*V.A. Timiryazev, A.A. Kutin
Moscow State Technological University
«STANKIN».*

IN MEMORY OF THE OUTSTANDING NATIONAL SCIENTIST-TECHNOLOGIST, HONORED MASTER OF SCIENCES AND ENGINEERING OF THE RSFSR, LENIN PRIZE LAUREATE, DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES, PROFESSOR BORIS SERGEEVICH BALAKSHIN

Annotation. The article is dedicated to the memory of the outstanding Russian scientist-technologist, Honored Master of Sciences and Engineering of the RSFSR, Lenin Prize Laureate, Doctor of Technical Sciences, Professor Boris Sergeevich Balakshin

Keywords: Memory, scientist, science, technologist, laureate.

Борис Сергеевич Балакшин родился в 1900 году в Кургане в семье русского инженера. Его отец Сергей Александрович Балакшин закончил Шарлоттенбургский политехнический институт в Германии и был одним из основателей Курганского турбинного завода. Документы в краеведческом музее Кургана показывают, что отец и дед Бориса

Сергеевича были Почетными гражданами своего города, которые много сделали на благо России.

Трудовую деятельность Борис Сергеевич начал в 19 лет. После окончания в 1924 году Томского технологического института, Борис Сергеевич работал на руководящих инженерных должностях на машиностроительных заводах Урала, а затем Самары и Нижнего Новгорода.

С 1930 по 1936 годы Борис Сергеевич работал в числе руководителей на Московском станкозаводе имени Серго Орджоникидзе. Он был одним из организаторов производства новых токарно-револьверных станков и многошпиндельных токарных автоматов. Для изучения зарубежного опыта и закупки станочного оборудования его командировали на машиностроительные предприятия Англии и США. С 1936 года Борис Сергеевич Балакшин возглавлял технологический отдел Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС). Там он занимался разработкой новых высокоэффективных типовых технологических процессов. В годы Великой Отечественной войны Б.С. Балакшин занимался технологическими вопросами массового производства боеприпасов и организацией поточного производства станков.

Свою трудовую деятельность в «Станкине» Борис Сергеевич начал в 1931 году, работая по совместительству на должности доцента. В 1942 году Б.С. Балакшин окончательно перешел работать в «Станкин» на должность доцента кафедры «Технология машиностроения», а через год стал профессором этой кафедры, которую возглавлял с 1946 по 1974 год. Под его руководством в «Станкине» была создана ведущая технологическая научная школа, получившая мировое признание. Борис Сергеевич разработал научные основы технологии машиностроения, изложенные в его трудах «Технология станкостроения», «Основы технологии машиностроения», «Адаптивные управления на станках», «Теория и практика машиностроения» и др.

Профессором Борисом Сергеевичем Балакшиным были разработаны теория размерных цепей, теория базирования, общий системный подход к разработке технологических процессов сборки машин и изготовления деталей, основы теории адаптивного управления технологических процессов механообработки.

На основе научных работ Бориса Сергеевича и под его непосредственным руководством были подготовлены и утверждены Госстандартом ГОСТы «Размерные цепи», «Базирование и базы в машиностроении».

Борис Сергеевич как выдающийся ученый-технолог пользовался большим авторитетом и уважением за рубежом. Он неоднократно представлял отечественное станкостроение на международных выставках в Брюсселе, Лейпциге, Париже. Его труды переведены на многие языки мира и изданы в Китае, Германии, Соединенном Королевстве, Румынии, Венгрии, Польше.

До последних дней своей жизни Борис Сергеевич читал лекции как студентам «Станкина», так и за границей. Созданная Б.С. Балакшиным технологическая научная школа «Станкина» воспитала и дала путевку в жизнь тысячам инженеров-технологов, сотням научных работников в нашей стране и за рубежом.

Борис Сергеевич принимал активное участие в общественной жизни. Он был депутатом Моссовета, членом президиума ВАК, членом редакционного совета издательства «Машиностроение», членом президиума Всесоюзного общества «Знание». За плодотворную научную и педагогическую деятельность Борис Сергеевич был награжден орденами Ленина, Трудового красного знамени и многими медалями. Он был удостоен почетных званий «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР», «Почетный доктор Дрезденского технического университета». В 1972 г. Б.С. Балакшину и коллективу ученых «Станкина», который он возглавлял, была присуждена Ленинская премия за цикл работ в области адаптивного управления станками.

Кафедра «Технология машиностроения» «Станкина», которую Борис Сергеевич возглавлял до конца своей жизни, носит его имя.

Б.С. Балакшин ушел из жизни в 1974 г. В памяти всех, кто знал Бориса Сергеевича, кто имел возможность работать рядом с ним, слушать его лекции, навсегда останется образ выдающегося отечественного ученого, доброго, отзывчивого человека.

МАШИНОВЕДЕНИЕ И ДЕТАЛИ МАШИН

УДК 621.65.03

Г.Ю. Волков, В.В. Смирнов, М.В. Горбунов
Курганский государственный университет

РАСЧЕТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы теоретической производительности планетарных роторных гидравлических машин (ПРГМ) с неодинаковыми числами M и N волн центральных колес. Получены соответствующие расчетные соотношения. Экспериментальные измерения выполнены средствами графической программы «КОМПАС». На основании совокупности характеристик: производительность, симметрия нагружения, механический КПД – описано преимущество схемы ПРГМ с числами волн $M=4$, $N=6$.

Ключевые слова: планетарная роторная гидромашина, сателлиты, центроида, симметрия, производительность.

Volkov G.Y., Smirnov V.V., Gorbunov M.V.
Kurgan State University

RELATIVE PERFORMANCE CALCULATION OF PLANETARY ROTARY HYDRAULIC MACHINES

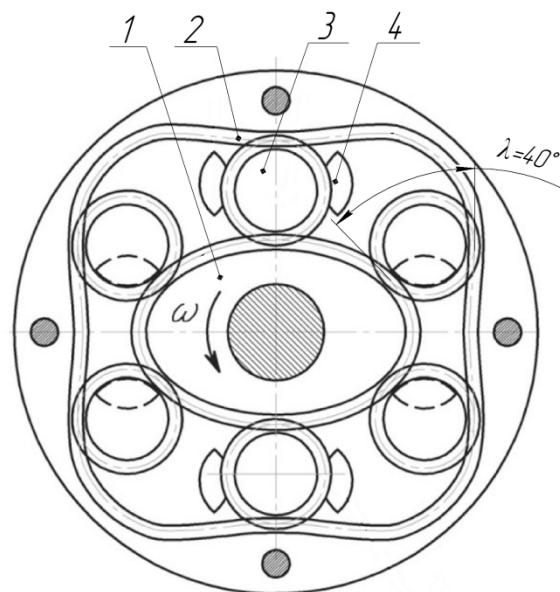
Annotation. The article deals with the theoretical performance of planetary rotary hydraulic machines (PRHM) with unequal numbers M and N waves of central wheels. We got corresponding calculated ratio. Experimental measurements are made with graphics program “KOMPAS” technique. The conclusion is that on the strength of all the evidence: a performance, load symmetry, mechanical efficiency the PRHM scheme with wave number $M=4$, $N=6$ is more preferable.

Keywords: planetary rotary hydraulic machine, satellites, centroid, symmetry, performance.

В современной технике широко используются гидравлические машины объемного вытеснения. Ключевым оценочным параметром гидромашин является их производительность. Перспективным в этом отношении представляются планетарные роторные гидравлические машины (ПРГМ). Они содержат планетарный механизм, в котором работают переменные объемы, заключенные между плавающими сателлитами и некруглыми центральными зубчатыми колёсами – ротором и

статором. В общем случае числа волн ротора M и статора N (и пропорциональные им числа зубьев Z_1 и Z_2) имеют разные значения.

Характерная схема ПРГМ [1] изображена на рисунке 1. Механизм содержит ротор 1, центроида которого имеет две волны ($M=2$), статор 2, центроида которого имеет четыре волны ($N=4$), сателлиты 3, число K которых равно $K=M+N$, подводящие и отводящие каналы 4.



1 – ротор; 2 – статор; 3 – сателлиты;
4 – каналы подвода и отвода рабочей среды.
Рисунок 1 – Планетарная роторная гидромашина
 $M=2$, $N=4$ (2×4) [1]

В данной статье решается вопрос о том, как влияют числа волн M и N на производительность гидромашин, отвечающих условию $N>M$.

Производительность гидромашин зависит от полезного объема W и частоты его обновления. Полезный объем W пропорционален разности максимального W_{max} и минимального W_{min} объемов одной рабочей камеры ПРГМ. Так как камеры имеют общую постоянную ширину b , то для сравнения полезного объема различных вариантов ПРГМ достаточно найти только разность площадей торцовых проекций этих объемов ΔS :

$$\Delta S = (S_{max} - S_{min}), \quad (1)$$

где S_{max} , S_{min} – максимальная и минимальная площади проекции одной рабочей камеры на торцовую плоскость.

Количество циклов обновления полезного объема ПРГМ за один оборот ротора равняется произведению чисел волн ротора и статора ($M \cdot N$). Следовательно, объем рабочей среды W_o , вытесняемый за один оборот ротора:

$$W_o = \Delta S \cdot b \cdot M \cdot N. \quad (2)$$

Для сравнения различных вариантов ПРГМ будем использовать безразмерный критерий S_o – относительную производительность гидромашины за один оборот ротора:

$$S_o = W_o / (b \cdot S_2) = \Delta S \cdot M \cdot N / S_2, \quad (3)$$

где S_2 – площадь, лежащая внутри центроиды статора, которая характеризует общие габариты гидромашины.

Обратим внимание на то, что S_2 очень мало отличается от площади круга

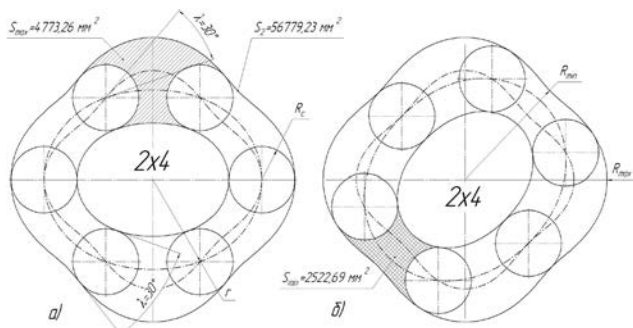
$$S_{2K} = \pi \cdot (R_H + R_C)^2, \quad (4)$$

где R_H – величина среднего радиуса центральной траектории сателлитов;

R_C – делительный радиус сателлита.

На выбор рационального числа «волн» ПРГМ помимо производительности влияют симметрия приложения сил, механический КПД и соблюдение условий (углов λ) «невыведения» сателлита.

У ПРГМ, изображенной на рисунке 1, максимальный угол λ составляет 40° , что при определенных обстоятельствах может привести к выдавливанию сателлита из зацепления. Для того, чтобы гарантированно исключить такое явление, предельные значения угла λ следует уменьшить. В наших сравнительных оценках вводим единое предельное значение $\lambda=30^\circ$. Тогда кинематическая схема гидромашины 2×4 будет выглядеть следующим образом (рисунок 2).



а – положение ПРГМ, в котором рабочая камера имеет максимальный объем; б – положение ПРГМ, в котором рабочая камера имеет минимальный объем

Рисунок 2 – Планетарная роторная гидромашинa
 $M=2, N=4 (2 \times 4), \lambda=30^\circ, k=0,1$

Для определения площадей S_{max} и S_{min} ротор располагаем в критических положениях, при которых камеры имеют максимальный W_{max} (рисунок 2а) и минимальный W_{min} (рисунок 2 б) объемы. Площади S_{max} , S_{min} и S_2 определяем при помощи тех же графических программ, в которых построена модель ПРГМ.

Прежде чем выполнить указанные выше измерения и расчеты для различных схем ПРГМ, необходимо в масштабе построить центроиды их колес. Центроиды ротора 1 и статора 2 являются эквидистантами к траекториям центра сателлита в системах координат, связанных с соответствующими

колесами [2]. Полярные уравнения этих траекторий в простейшем случае будут выглядеть следующим образом:

$$r = R_H \cdot (1 + k \cdot \cos(M \cdot \varphi)), \quad (5)$$

$$r = R_H \cdot (1 + k \cdot \cos(N \cdot \varphi)), \quad (6)$$

где φ – текущий угол поворота радиус-вектора r в полярных координатах;

k – параметр кривизны «косинусоиды».

От величины коэффициента кривизны k зависит условие «невыведения» сателлитов, при увеличении k угол λ увеличивается. В данной статье для каждого конкретного соотношения $M \times N$ подбираем коэффициент k таким образом, чтобы соблюдалось условие $\lambda=30^\circ \pm 0,5^\circ$. На рисунке 2 в качестве примера показаны траектории центра сателлита ПРГМ 2×4 . Угол λ можно измерять между касательными к центровым траекториям в точках их пересечения. Максимальный угол $\lambda=30^\circ$ имеет место в положении, показанном на рисунке 2а. Для построения центроид ротора и статора нужно знать делительный радиус R_C сателлита.

Размер сателлитов ПРГМ находим [2] для характерного случая, когда все зубчатые звенья выполнены без смещения исходного производящего контура, по формуле.

$$R_C = R_H \cdot (N - M) / (M + N). \quad (7)$$

Измеряем площади S_{max} , S_{min} , S_2 . Относительная производительность S_o гидромашины, показанной на рисунке 2, за один оборот ротора по формуле (3) составит:

$$\begin{aligned} S_o &= W_o / (b \cdot S_2) = \Delta S \cdot M \cdot N / S_2 = \\ &= (4773,26 - 2522,69) \cdot 2 \cdot 4 / 56779,23 \\ &= 0,317 \text{ мм}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Аналогичные построения и расчеты выполняем для ПРГМ с другими соотношениями $M \times N$ (рисунок 3), но при одинаковом значении угла $\lambda=30^\circ$. Результаты заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Относительная производительность S_o ПРГМ ($M < N$)

| M | N | Число сателлитов K | Радиус сателлита R_C / R_H | Симметрия | Относит. производ. S_o |
|---|---|--------------------|------------------------------|-----------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 0,333 | - | 0,30 |
| 1 | 3 | 4 | 0,5 | - | 0,16 |
| 2 | 3 | 5 | 0,2 | - | 0,49 |
| 2 | 4 | 6 | 0,333 | + | 0,32 |
| 3 | 4 | 7 | 0,143 | - | 0,49 |
| 4 | 5 | 9 | 0,111 | - | 0,55 |
| 4 | 6 | 10 | 0,2 | + | 0,49 |
| 6 | 8 | 14 | 0,143 | + | 0,51 |

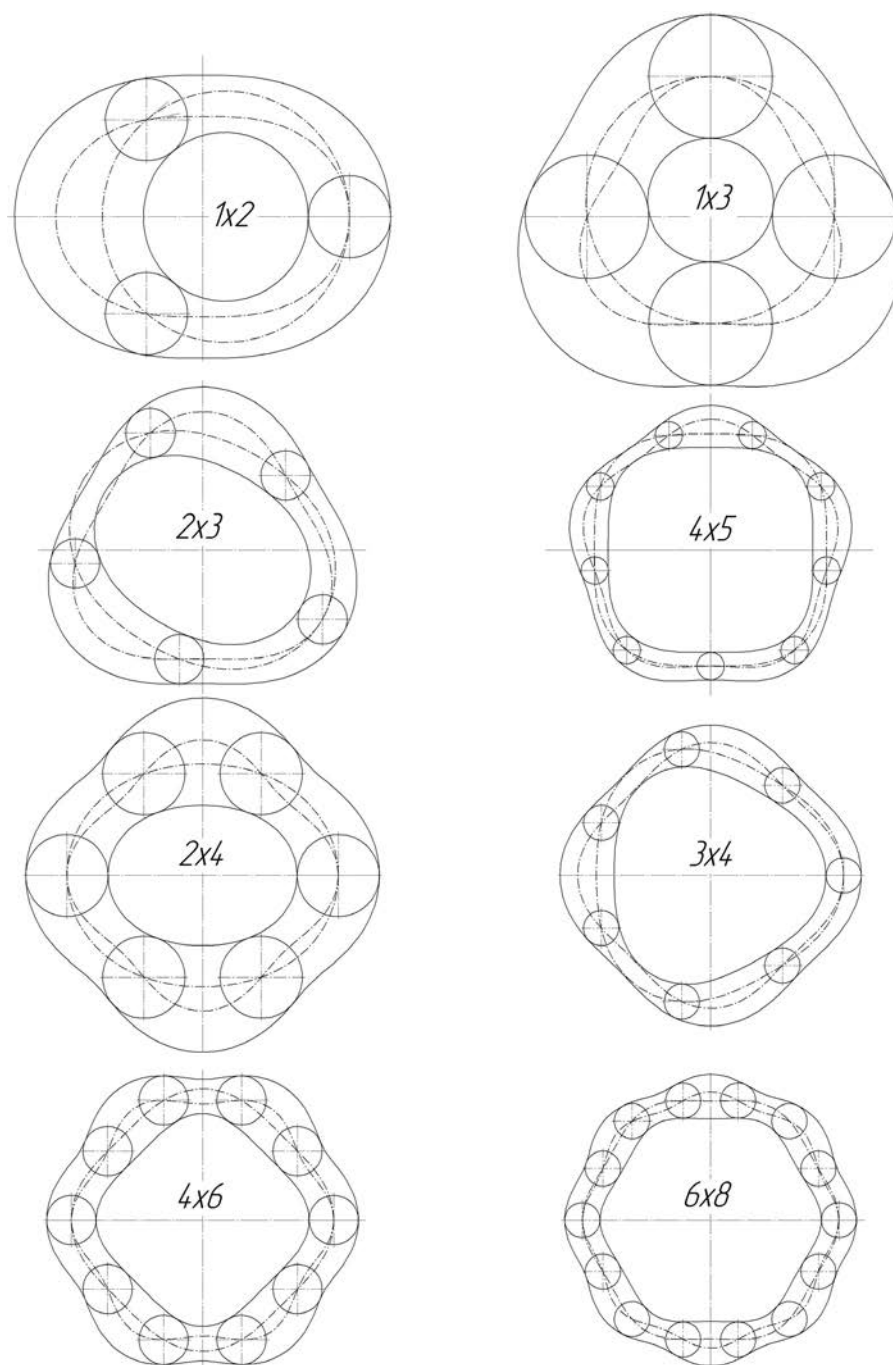


Рисунок 3 – Схемы ПРГМ

Сравнение рассмотренных схем по критерию S_0 показывает, что существенное влияние на производительность ПРГМ оказывает только диаметр сателлитов. Среди схем, представленных на рисунке 3 и в таблице 1, максимальную производительность имеет схема 4×5, в которой сателлиты имеют наименьший диаметр.

Однако нужно помнить, что оценочной характеристикой схем ПРГМ является не только производительностью. Схемы 1×2, 1×3, 2×3, 3×4, 4×5 не обладают симметрией приложения сил и поэтому не могут использоваться на максимальных давлениях среды. Увеличение количества сателлитов K приводит к росту механических потерь в зацеплениях. По этому показателю схему 4×6 ($K=10$) следует предпочесть схеме 6×8 ($K=14$), не-

смотря на то, что относительная производительность у последней несколько выше.

Таким образом, по совокупности свойств схему 4×6 следует считать оптимальной. Кстати, именно эта схема, известная по патенту [3], используется фирмой HUDROMECH (Польша), единственной в мире выпускающей ПРГМ в промышленном масштабе.

Выводы

Из всех возможных схем ПРГМ, отвечающих условиям $N > M$ и $N + M \leq 14$, условию симметрии отвечают только три схемы: 2×4, 6×8, 4×6. Среди них схема 2×4 существенно проигрывает двум другим по производительности. Схема 4×6 незначительно уступает схеме 6×8 в производительности, но заметно превосходит ее по механическому КПД.

Список литературы

1 Ан И-Кан. Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2001. 35 с.

2 Волков Г. Ю., Курасов Д. А., Горбунов М. В.

Геометрический синтез некруглых зубчатых колес планетарной роторной гидромашин // Вестник Курганского государственного университета. Серия «Технические науки». 2016. Вып. 11. С. 23-27.

3 Патент US 6230823 (B1) Downhole motor / Dariusz Sieniawski. Оpubл. 15.05.2001.

УДК 621.869

М.И. Жилевич, П.Н. Кишкевич, А.А. Зубрицкий
Белорусский национальный технический университет

АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ГИДРОЦИЛИНДРА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ ПОГРУЗЧИКА

Аннотация. Разработана математическая модель для определения взаимного положения звеньев механизма подъема стрелы погрузчика с гидравлическим приводом рабочего оборудования, получены математические зависимости, позволяющие оценить ряд силовых факторов при ее перемещении. Выполнены тестовые расчеты.

Ключевые слова: гидроцилиндр, кинематика, нагрузка, погрузчик, стрела, математическое моделирование, анализ.

M.I. Zhylevich, P.N. Kishkevich, A.A. Zubritski
Belarusian National Technical University

LOADING ANALYSIS OF HYDRAULIC CYLINDER IN LIFT MECHANISM OF LOADER TELESCOPIC ARM

Annotation. A mathematical model for determination the mutual position of the loader links with the hydraulic drive of the working equipment had been developed. Mathematical dependencies, allowing evaluation of force factors during loader arm moving are obtained. Test calculations are performed.

Key words: hydraulic cylinder, cinematics, loading, loader, load arm, math modeling, analysis.

Введение

Погрузчики с телескопической стрелой и гидравлическим приводом рабочего оборудования в настоящее время находят всё большее применение при выполнении строительных работ и погрузочно-разгрузочных операций в логистических центрах. В таких машинах совмещаются функцио-

нальные возможности вилочного и одноковшового фронтального погрузчиков и самоходного стрелового крана. Они могут работать на ограниченном пространстве, поднимать груз на значительную высоту и оперировать с ним ниже плоскости своей опоры, а также транспортировать грузы на определенное расстояние.

Одним из первых производителей погрузчиков с телескопической стрелой является итальянская компания *Merlo* [1]. Выпуском аналогичной техники занимаются известные мировые компании *Bobcat*, *Caterpillar*, *DIETI*, *JCB*, *Gradall*, *TEREX* и др. Освоено производство таких машин и ОАО «АМКОДОР» (Республика Беларусь) [2].

С целью обеспечения конкурентоспособности проектируемых изделий, сокращения сроков проектирования и экспериментально-доводочных работ, что особенно актуально для рабочего оборудования с гидравлическим приводом, а также с целью оперативного реагирования на потребности заказчиков по грузоподъемности и функциональным возможностям погрузчика требуется развить инновационные методы их моделирования и исследования [3-6].

1 Математическая модель

В качестве объекта исследования принята одна из моделей погрузчиков «АМКОДОР». Общий вид монтажа телескопической стрелы на погрузчике представлен на рисунке 1 (точки 3 и 6 соответствуют местам крепления гидроцилиндра подъема стрелы).

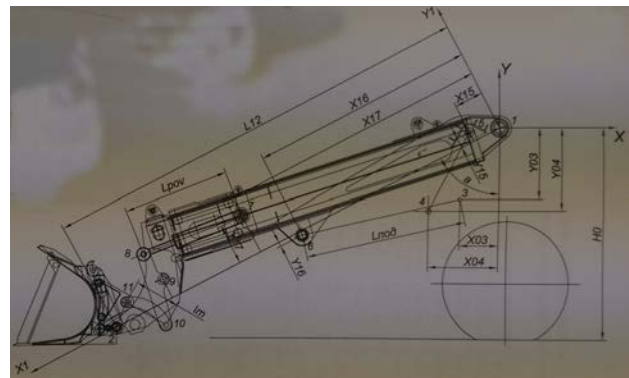


Рисунок 1 – Общий вид механизма подъема стрелы

Расчетная схема, учитывающая кинематические связи механизма, представлена на рисунке 2. Расстояние $|AD|$ соответствует расстоянию между шарнирами цилиндра подъема (поворота) стрелы. Плечо $l_{ст}$ приложения силы тяжести груза может изменяться гидроцилиндром выдвижения стрелы, расположенным внутри последней, выполненной в виде короба.

Угол поворота стрелы α_c по отношению к вертикальной оси вокруг точки *C* (рисунок 2).

$$\alpha_c = DCE + ACB + ACD. \quad (1)$$

Из треугольника *CDE*

$$DCE = \arctg(|DE|/|CE|) = \arctg(x_3/y_3); \quad (2)$$

$$|CD|^2 = |DE|^2 + |CE|^2 = x_3^2 + y_3^2,$$

где x_3, y_3 – координаты расположения шарнира D .

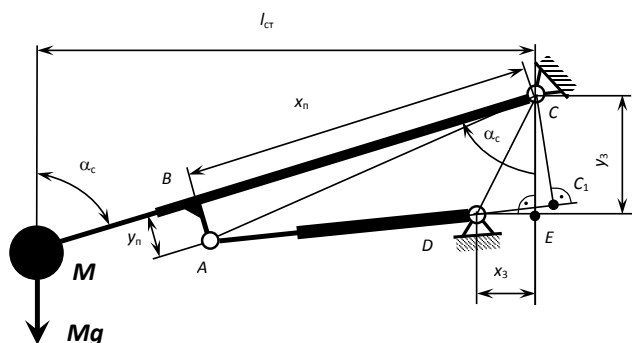


Рисунок 2 – Кинематическая схема рабочего оборудования

Из треугольника ABC следует:

$$ACB = \arctg(|AB|/|BC|) = \arctg(y_n/x_n); \quad (3)$$

$$|CD|^2 = |DE|^2 + |CE|^2 = y_n^2 + x_n^2,$$

где x_n, y_n – координаты точки крепления шарнира штока цилиндра поворота стрелы.

Величина угла ACD будет зависеть от хода штока цилиндра подъема стрелы (в точках A и D расположены шарниры цилиндра). Из треугольника ACD

$$\begin{aligned} |AD|^2 &= |AC|^2 + |CD|^2 - 2|AC||CD|\cos(ACD) = \\ &= x_n^2 + y_n^2 + x_3^2 + y_3^2 - \\ &- 2\sqrt{(x_n^2 + y_n^2)(x_3^2 + y_3^2)}\cos(ACD). \end{aligned}$$

Можно записать

$$|AD| = L_{\text{под}} + x_{\text{под}},$$

где $L_{\text{под}}$ – расстояние между шарнирами цилиндра подъема стрелы в начальном положении;

$x_{\text{под}}$ – текущая координата (ход) штока цилиндра подъема стрелы.

Таким образом,

$$ACD = \arccos \left[\frac{(x_n^2 + y_n^2 + x_3^2 + y_3^2 - (L_{\text{под}} + x_{\text{под}})^2)}{2\sqrt{(x_n^2 + y_n^2)(x_3^2 + y_3^2)}} \right]. \quad (4)$$

Подставив выражения (2)...(4) в выражение (1), получим зависимость угла поворота стрелы от положения поршня цилиндра подъема стрелы

$$\begin{aligned} \alpha_c &= \arctg(y_n/x_n) + \arctg(x_3/y_3) + \\ &+ \arccos \left[\frac{(x_n^2 + y_n^2 + x_3^2 + y_3^2 - (L_{\text{под}} + x_{\text{под}})^2)}{2\sqrt{(x_n^2 + y_n^2)(x_3^2 + y_3^2)}} \right]. \quad (5) \end{aligned}$$

Данная зависимость позволяет также анализировать влияние координат крепления шарниров на кинематику механизма.

Высота подъема груза относительно горизонтальной оси, проходящей через шарнир C , определяется по выражению

$$H_{\text{гр}} = L_{\text{стр}} \sin(\alpha_c - \pi/2), \quad (6)$$

дальность выдвижения груза относительно вертикальной оси, проходящей через шарнир C ,

$$L_{\text{гр}} = L_{\text{стр}} \cos(\alpha_c - \pi/2). \quad (7)$$

Запишем уравнение моментов сил, действующих на стрелу, относительно шарнира C , причем трением будем пренебрегать

$$M_T = M_{\text{ц}}, \quad (8)$$

где M_T – момент силы тяжести груза;

$M_{\text{ц}}$ – момент силы давления, развиваемый гидроцилиндром.

$$M_T = M_g l_{\text{стр}},$$

где M_g – масса груза (массой стрелы на начальном этапе пренебрегаем);

g – ускорение свободного падения;

$l_{\text{стр}}$ – плечо силы тяжести.

$$l_{\text{стр}} = L_{\text{стр}} \sin(\alpha_c),$$

где $L_{\text{стр}}$ – длина стрелы (от шарнира C до центра тяжести груза).

Угол α_c рассчитывается по выражению (5).

Стрела имеет телескопическую конструкцию, и ее длина может меняться от полностью втянутой $L_{\text{стр.min}}$ до полностью выдвинутой $L_{\text{стр.max}}$. Наиболее нагруженный режим будет при выдвинутой стреле, однако целесообразно анализировать режим нагружения цилиндра подъема и при втянутой стреле.

Момент силы давления, развиваемый гидроцилиндром,

$$M_{\text{ц}} = F_{\text{цп}} l_{\text{цп}},$$

где $F_{\text{цп}}$ – сила, развиваемая гидроцилиндром;

$l_{\text{цп}}$ – плечо силы давления.

$$F_{\text{цп}} = \pi D_{\text{цп}}^2 p_{\text{цп}} / 4,$$

где $D_{\text{цп}}$ – диаметр поршня;

$p_{\text{цп}}$ – давление в цилиндре.

Из треугольника ACC_1

$$l_{\text{цп}} = |CC_1| = |AC| \sin(CAC_1) = |AC| \sin(CAD)$$

Из треугольника CAD по теореме синусов

$$\frac{|CD|}{\sin(CAD)} = \frac{|AD|}{\sin(ACD)},$$

откуда

$$\begin{aligned} \sin(CAD) &= |CD| \sin(ACD) / |AD| = \\ &= \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \sin(ACD) / L_{\text{под}} + x_{\text{под}}, \end{aligned}$$

причем величина угла ACD рассчитывается по выражению (4).

Таким образом, подставив составляющие в уравнение (8), получим

$$M_T g L_{\text{под}} \sin \left[\arctg(y_{\text{п}} / x_{\text{п}}) + \arctg(x_3 / y_3) + \arccos \left[\frac{(x_{\text{п}}^2 + y_{\text{п}}^2 + x_3^2 + y_3^2 - (L_{\text{под}} + x_{\text{под}})^2) /}{2 \sqrt{(x_{\text{п}}^2 + y_{\text{п}}^2)(x_3^2 + y_3^2)}} \right] \right] =$$

$$= \frac{\pi D_{\text{щ}}^2}{4(L_{\text{под}} + x_{\text{под}})} p_{\text{щ}} \sqrt{x_{\text{п}}^2 + y_{\text{п}}^2} \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \times$$

$$\sin \left(\arccos \left[\frac{(x_{\text{п}}^2 + y_{\text{п}}^2 + x_3^2 + y_3^2 - (L_{\text{под}} + x_{\text{под}})^2) /}{2 \sqrt{(x_{\text{п}}^2 + y_{\text{п}}^2)(x_3^2 + y_3^2)}} \right] \right) \quad (9)$$

2 Расчетные исследования

По разработанной математической модели выполнены тестовые расчеты. В качестве основных исходных данных были приняты ряд параметров, близкие к параметрам одной из моделей погрузчика с телескопической стрелой ОАО «АМКОДОР».

Получены графики изменения высоты подъема и дальности выдвигания груза в зависимости от угла поворота стрелы в выдвинутом и втянутом положении; изменения угла поворота стрелы, высоты подъема и дальности выдвигания от хода штока цилиндра подъема стрелы; давления в гидроцилиндре подъема стрелы от угла ее поворота и высоты подъема груза при заданном диаметре поршня; расчетного (минимального) диаметра поршня гидроцилиндра при заданном давлении в различных положениях стрелы во втянутом и выдвинутом состоянии в зависимости от угла поворота и высоты подъема.

Графики изменения высоты подъема и дальности выдвигания груза в зависимости от угла поворота стрелы в выдвинутом и втянутом положении представлены на рисунке 3.

Используя уравнение (9), можно оценить ряд силовых факторов, в частности, нагрузки на штоки цилиндров, диаметры поршней, давление, необходимое для удержания груза при различном положении звеньев механизма.

Если из уравнения (9) выразить $p_{\text{щ}}$, можно рассчитать изменение давления в цилиндре с заданным диаметром поршня $D_{\text{щ}}$, обеспечивающее подъем груза массой M_r при длине стрелы $L_{\text{стр}}$, в зависимости от положения поршня $x_{\text{под}}$ цилиндра подъема стрелы (или от угла поворота стрелы) диаметром поршня $D_{\text{щ}}$. На основании полученных зависимостей можно выбрать рабочее давление в системе.

На рисунке 4 представлены графики изменения давления в гидроцилиндре подъема стрелы в зависимости от угла поворота стрелы в выдвинутом и втянутом положении.

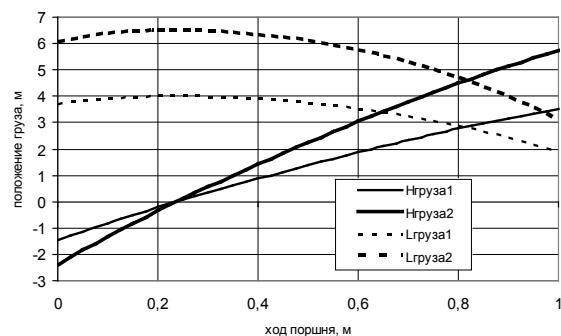


Рисунок 3 – Высота подъема (Нгруза1) и дальность выдвигания (Lгруза1) груза при втянутой стреле, соответственно, Нгруза2, Lгруза2 – при выдвинутой

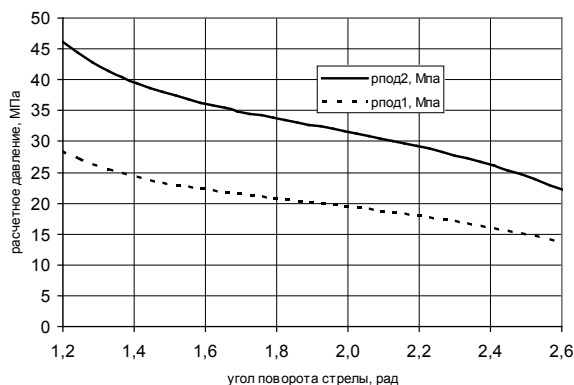


Рисунок 4 – Давление в гидроцилиндре подъема стрелы при заданном диаметре поршня со втянутой (rпод1) и выдвинутой (rпод2) стрелой

Если из уравнения (9) выразить $D_{\text{щ}}$, можно рассчитать необходимый диаметр поршня при заданном давлении в системе $p_{\text{щ}}$ и различных M_r , $L_{\text{стр}}$, $x_{\text{под}}$. Графики изменения минимального расчетного диаметра поршня при заданном давлении в различных положениях стрелы во втянутом и выдвинутом состоянии в зависимости от угла ее поворота представлены на рисунке 5. По полученным графикам можно выбрать требуемый диаметр поршня цилиндра подъема стрелы или рабочее давление в контуре.

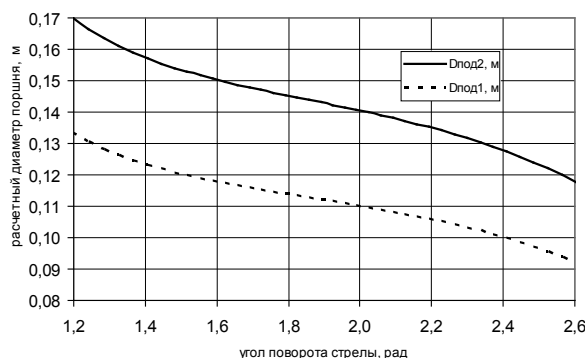


Рисунок 5 – Расчетный диаметр поршня при заданном давлении со втянутой (Dпод1) и выдвинутой (Dпод2) стрелой

Закключение

Разработанная математическая модель механизма подъема телескопической стрелы погрузчика позволяет анализировать взаимное положение звеньев на различных углах её поворота, необходимый ход цилиндра подъема стрелы для обеспечения заданной высоты подъема груза, высоту подъема груза и дальность его выдвижения в различных положениях цилиндров подъема и выдвижения стрелы, ряд силовых факторов (нагрузки на гидроцилиндр и давление в нем) в зависимости от конструктивных параметров привода и координат крепления шарниров. Путем многовариантного анализа можно выбрать рациональные значения конструктивных параметров и выполнить параметрический синтез привода.

Список литературы

- 1 Погрузчик телескопический. Характеристики и возможности. URL: <http://stronews.ru/pogruzchik-teleskopicheskij-xarakteristiki-i-vozmozhnosti/>
- 2 Погрузчик с телескопической стрелой Амкордор 527: Руководство по эксплуатации. Минск : ОАО «Амкордор», 2008.
- 3 Навроцкий К. Л. Теория и проектирование ГПП. М. : Машиностроение, 1989. 248 с.
- 4 Автомобили: Специализированный подвижной состав : уч. пособие / М. С. Высоцкий [и др.]; под общ. ред. М. С. Высоцкого, А. И. Гришкевича. Минск : Выш. шк., 1988. 160 с.
- 5 Богдан Н. В., Жилевич М. И., Автушко В. П. Моделирование динамических процессов в гидроприводе подъема стрелы манипулятора погрузочно-транспортной машины // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Харьков, 2001. Вып. 129. Ч. 2. С. 31-52.
- 6 Шевченко В. С., Жилевич М. И. Математическая модель гидростатической передачи тягово-транспортной машины // Промышленная гидравлика и пневматика. 2010. №2. С. 76-79.

УДК 629.1.02

А.А. Абабкова

Курганский государственный университет

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Аннотация. В статье представлена классификация современных наземных военных роботов. Рассмотрены некоторые роботизированные комплексы российского и зарубежного производства. Проведен анализ динамических свойств гусеничной машины. Описано влияние нелинейности системы управления на реакцию машины.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, гусеничная платформа, дистанционное управление, управляющее воздействие, реакция машины.

A.A. Ababkova

Kurgan State University

ANALYSIS OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE TRACKED VEHICLE FOR PROVIDING MOVEMENT ROBOTIC CONTROL

Annotation. The article presents the classification of modern ground-based military robots. We analyze some of Russian- and foreign-manufactured robotic systems. The analysis of the dynamic properties of the tracked vehicle is carried out. The article describes the influence of nonlinearity of the control system on the vehicle reaction.

Key words: : robotic complex, a tracked platform, remote control, control action, vehicle reaction.

В настоящее время роботы применяются в различных отраслях промышленности и выполняют сложные работы. Не обошлось без них и в военной технике. Стремление снизить потери солдат в процессе ведения боевых действий вынуждают конструкторов проектировать мобильные роботизированные платформы различного типа и назначения. На сегодняшний день активно такими разработками занимается США, но и в России существуют подобные конструкции. Рассмотрим подробнее существующие роботизированные комплексы.

Прежде всего, стоит отметить, что существует несколько классификаций военных роботов. В зависимости от выполняемой задачи различают разведывательные, инженерные, боевые и тыловые комплексы. Но для большинства автоматизированных аппаратов это разделение условно, так как они являются унифицированными платформами с набором модулей, которые можно легко менять в зависимости от выполняемого задания. Например, робота-сапера можно легко превратить в боевого робота [1].

По массе роботизированные платформы делятся на легкие, средние и тяжелые.

Важным параметром роботов является автономность работы. В зависимости от степени самостоятельности выполнения задания военные роботы подразделяются на дистанционно управляемых роботов, полуавтоматических и автоматических. Как правило, современные военные роботизированные комплексы управляются дистанционно с пульта, но сейчас активно разрабатываются полуавтоматические (они могут в большей или меньшей степени следовать вложенной программе и обходиться без постоянного вмешательства человека) и полностью автоматические роботизированные системы.

Мобильные роботизированные комплексы имеют различные формы и размеры. Например, на рисунке 1 представлен миниатюрный робот-

разведчик Recon Scout (США). Его вес составляет 1,3 кг, длина 200 мм, он оборудован обычной и инфракрасной камерой.

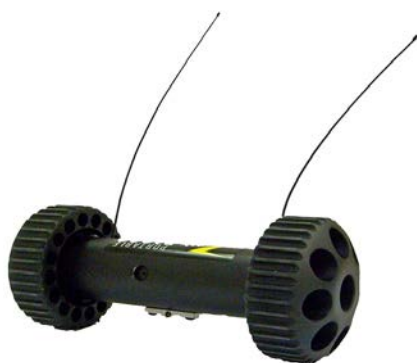


Рисунок 1 – Робот-разведчик Recon Scout

Американская компания BAE Systems разработала самый крупный боевой робот Black Knight (рисунок 2). Вес данного роботизированного комплекса составляет 9,5 т, он вооружен 30-мм автоматической пушкой и спаренным с ней пулеметом, оборудован телекамерами, тепловизорами и системой спутниковой навигации.



Рисунок 2 – Боевой робот Black Knight

Существуют разработки военных роботов российского производства. Например, «Платформа-М» – универсальная самоходная гусеничная платформа на дистанционном управлении (рисунок 3). Масса робота достигает 800 кг. Кроме того, есть возможность размещения до 300 кг полезной нагрузки. Максимальная скорость платформы составляет 12 км/ч, время автономной работы не менее 10 часов. Комплекс «Платформа-М» предназначен для ведения боевых действий и разведки. Он способен уничтожать стационарные и подвижные цели, а также оказывать огневую поддержку своим подразделениям. Кроме того, робот может использоваться для постановки дымовых завес и минирования местности, проделывания проходов в минных полях противника, доставки боеприпасов и других грузов в

назначенное место, осуществлять охранное патрулирование важных объектов [2].



Рисунок 3 – Роботизированный комплекс «Платформа М»

Одной из последних разработок российских конструкторов является роботизированный гусеничный комплекс «Соратник» (рисунок 4). Данный комплекс представляет собой гусеничную платформу весом до 7 тонн с возможностью установки сменных боевых модулей. Максимальная скорость роботизированного комплекса составляет 40 км/ч. Запас хода «Соратника» – 400 км, автономность работы в пассивном режиме до 10 суток [3].



Рисунок 4 – Роботизированный гусеничный комплекс «Соратник»

Роботизированный гусеничный комплекс «Соратник» комплектуется боевыми модулями в зависимости от выполняемой задачи. Он способен вести разведку, патрулировать и охранять государственную границу, а также стратегически важные объекты, проводить разминирование и демонтаж заграждений, поддерживать сухопутные подразделения на поле боя. Также комплекс можно использовать для подвоза боеприпасов и горюче-смазочных материалов и для эвакуации раненых.

«Соратник» оснащен компьютерным интеллектом и избирательным машинным зрением. Комплекс работает в трех режимах управления:

- ручной (управление на расстоянии до 10 километров от оператора);
- полуавтоматический режим;

– автоматический.

«Соратник» способен обнаруживать цель на дистанции до 2,5 км и вести обстрел в движении, так как боевой модуль имеет гироскопическую стабилизацию вооружения. Комплекс может работать совместно в связке с другими автоматизированными боевыми единицами.

Современные тенденции развития робототехники связаны с созданием искусственного интеллекта. В России данными разработками для военных роботов активно занимается «Объединенная приборостроительная корпорация». В настоящий момент они завершили разработку программного комплекса централизованного и децентрализованного управления группой боевых роботов, который получил название «Уникум». Уже начались его испытания, которые представляют собой программное моделирование поведения машин в боевых условиях.

Данная разработка связана с автономным поведением группы боевых роботов, которые могут самостоятельно или коллективно принимать решения и корректировать совместную деятельность для выполнения поставленной задачи. Роботы самостоятельно распределяют между собой роли, сектора действия, они ведут разведку, наступают, обороняются и выбирают маршруты движения. При отсутствии сигналов ГЛОНАСС ориентировка в пространстве осуществляется путем самостоятельного составления трехмерной карты местности. Для этих целей в группе состоят роботизированные комплексы с различным набором модулей и имеются беспилотники. Поэтому данная программная платформа универсальна и позволяет управлять боевыми роботами всех типов и специализаций. В настоящий момент под платформу «Уникум» создаются боевые машины на гусеничном ходу УРП-01Г. Они способны нести до двух тонн полезной нагрузки.

Роботы на гусеничной платформе применяются и для мирных целей. Например, многофункциональный робототехнический комплекс пожаротушения на гусеничной базе «Уран-14» (рисунок 5). Его масса составляет 14 т, а максимальная скорость движения достигает 10 км/ч. Робот оснащен водяным пожарным насосом производительностью 2000 л/мин, а также цистернами с водой и пенообразователем емкостью 2000 л и 600 л, соответственно. Комплекс пожаротушения управляется дистанционно на расстоянии до 1 км, дальность тушения пожара 50 м, при этом ствол-монитор в горизонтальной плоскости может вращаться по кругу [4].



Рисунок 5 – Роботизированный комплекс пожаротушения «Уран-14»

Комплекс «Уран-14» предназначен для:

- дистанционного пожаротушения опасных и труднодоступных объектов, таких как горящие склады ГСМ, вооружения, конструкций с угрозой обрушения, а также ликвидации последствий происшествий, имеющих угрозу взрыва;
- проведения высокоточного пожаротушения в местах повышенных температур, на складах хранения взрывоопасных веществ, на нефте/газоперерабатывающих заводах и в других местах, где тушения пожаров человек осуществляет с высокой степенью риска для своего здоровья;
- разведки очагов пожара, в том числе скрытых, без внешних признаков горения, при помощи системы видеонаблюдения в оптическом и тепловизионном диапазонах.
- проделывания проходов в завалах и разрушениях;
- подъема и перемещения с помощью схвата опасных и взрывчатых грузов массой до 1,5 тонн;
- толкания грузов массой до 4 тонн.

Комплекс прост и удобен в управлении, уникален по своей эффективности и безопасности работы, что исключает непосредственный контакт человека с опасными для жизни температурами в зоне пожаротушения.

Военных роботов, которые эксплуатируются в сложных условиях, устанавливают для повышения проходимости на гусеничную платформу. Одним из вариантов создания роботизированных технических комплексов является использование в качестве базы транспортной машины ТМ-140 и ее модификаций. Данная машина может управляться вручную (традиционно), дистанционно и программно.

В процессе движения гусеничной машины при традиционном способе управления водитель создает упреждающее управляющее воздействие, которое позволяет выполнять маневрирование правильно, без сноса или заноса. В случае непосредственного нахождения в салоне транспортного средства оператор способен адекватно оценить расстояние до препятствия и скорректировать траекторию движения.

При дистанционном управлении у операто-

ра нет возможности правильно оценивать расстояние до маневра, т.е. отсутствует трехмерный контур технического зрения. Поэтому невозможно своевременно создать упреждающее управляющее действие, что ограничивает максимальную скорость движения робота.

В случае программного управления на корпус роботизированного технического комплекса устанавливаются спутниковые антенны. При таких условиях движения для корректировки траектории гусеничной машины необходима электронная карта местности. Она позволяет проводить топологический анализ взаимного размещения подвижных и неподвижных объектов и планировать перемещение объекта управления (поиск маршрутов движения, расчет времени движения). В таких условиях очень важна высокая управляемость робота.

При управлении гусеничной машиной проявляются нелинейности, которые связаны с реакцией машины на управляющее воздействие, особенно в условиях удаленного управления объектом. Запаздывание реакции, продолжительность импульса, вид управляющего сигнала, все эти параметры влияют на реакцию машины. Кроме того, важным параметром является скорость передвижения роботизированных комплексов. Поэтому необходимо проводить моделирование систем управления гусеничными машинами.

Управление транспортным средством осуществляется по различным законам. При движении управляющее воздействие может обладать дискретными или непрерывными свойствами. Например, при прохождении тестовой змейки управляющее воздействие будет иметь вид синусоиды, а реакция на него гусеничной машины, полученная путем моделирования, представлена на рисунке 6.

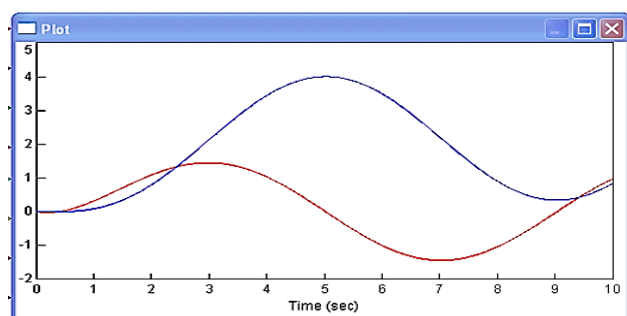
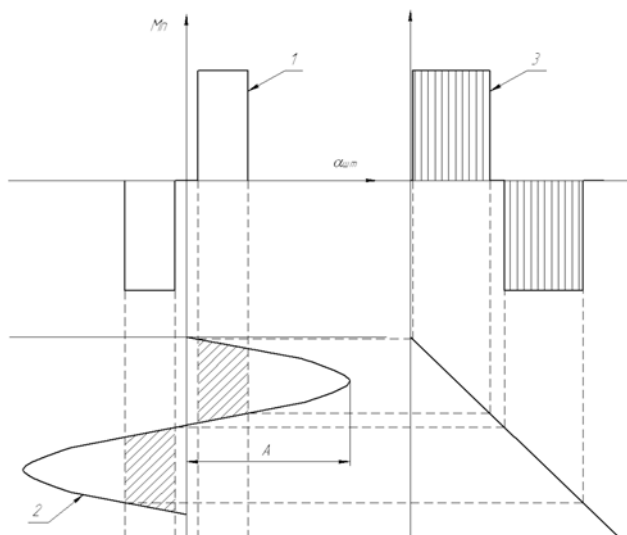


Рисунок 6 – Реакция гусеничной машины на гармоническое управляющее воздействие

Из графиков рисунка 6 видно, что при гармоническом управляющем воздействии реакция машины по угловой скорости и курсовому углу смещены относительно друг друга.

Рассмотрим моделирование реакции машины на нелинейную характеристику управления. Схема определения реакции нелинейной системы на симметричное гармоническое управляющее воздействие $a_{шт} = A \cdot \sin(\cdot t)$ приведена на рисунке 7.



1 – кусочно-линейная форма;
2 – управляющее воздействие $a_{шт} = A \cdot \sin(\cdot t)$;
3 – реакция нелинейной системы
Рисунок 7 – Формирование управления при нелинейной характеристике

Для исследования динамических свойств гусеничной машины с существенно нелинейной характеристикой системы управлением поворотом необходимо ее формальное описание. Нелинейность характеристики $M_{п}$ от $a_{шт}$ может быть задана по-разному: в кусочно-линейной форме (формула (1)) или на основе линеаризации системы (формула (2)) [5].

Кусочно-линейная форма имеет вид:

$$M_{п}(\alpha_{шт}) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq \alpha_{шт} \leq m \\ M_{п \max}, & \text{при } m < \alpha_{шт} < m + b \\ 0, & \text{при } m + b < \alpha_{шт} \leq \pi + m \\ -k_1, & \text{при } \pi + m < \alpha_{шт} \leq 2\pi - (m + b) \\ 0, & \text{при } 2\pi - (m + b) < \alpha_{шт} \leq 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

При гармонической линеаризации нелинейной характеристики функция определяется по уравнению

$$M_{п}(\alpha_{шт}) = e^{-ts} (q + q') \alpha_{шт}, \quad (2)$$

где t – постоянная запаздывания, $t = 0,2 \dots 0,4$ с.;

q и q' – коэффициенты гармонической линеаризации:

$$q(A) = \frac{2 \cdot c}{\pi \cdot A} \left[\sqrt{1 - \frac{b^2}{A^2}} + \sqrt{1 - \frac{m^2 \cdot b^2}{A^2}} \right],$$

$$q'(A) = \frac{2 \cdot c \cdot b}{\pi \cdot A^2} (1 - m) \quad \text{при } A > b,$$

где A – амплитуда управляющего воздействия.

На статической характеристике нет координаты времени, а петлеобразность характеристики отражает нелинейность координатного запаздывания реакции. Для учета запаздывания во вре-

мени вводится трансцендентное звено чистого запаздывания e^{-s} .

Характеристика системы управления поворотом с гидрообъемной передачей (ГОП) представлены на рисунке 8 в виде функции давления P в силовых магистралях ГОП от угла поворота штурвала $\alpha_{шт}$. Характеристика содержит зону нечувствительности, ограничение координаты (насыщение по давлению) является двухзначной (петлеобразной) [6].



Рисунок 8 – Параметры характеристики системы управления поворотом с ГОП

Зона нечувствительности ($m=12^\circ$) определяется зазором в приводе управления и свойствами передачи. Величина зазора определяется условием обеспечения нулевой чувствительности к управляющему воздействию ограниченной амплитуды при случайных отклонениях штурвала водителем. Кроме того, зона нечувствительности устраняет остаточную скорость вращения вала гидромотора, свойственную системам с петлеобразными характеристиками, при возвращении штурвала в исходное состояние. Ширина петли определяется свойствами ГОП и составляет $b=5,1^\circ$. Ограничение координаты определяется настройкой предохранительных клапанов и составляет $c=45$ МПа. Эта характеристика соответствует и изменению скорости поворота машины, когда двигатель работает в режиме максимальной мощности.

При управлении гусеничной машиной в реальных условиях существует запаздывание реакции машины на управляющее воздействие, то есть нелинейность системы управления. Наличие существенных нелинейностей может привести к автоколебаниям с недопустимо большой амплитудой, а в отдельных случаях – к нарушению устойчивости и управляемости движения. Таким образом, необходимо знать характер управляющего воздействия, его числовые характеристики и реакцию машины на соответствующее управление. Моделирование систем с нелинейностями позволяет выполнить расчеты и спрогнозировать поведение машины, а также определить основные направления снижения влияния нелинейности на динамику гусеничной машины.

Таким образом, при создании роботизированных комплексов на гусеничной платформе необходимо учитывать реакцию гусеничной машины в зависимости от вида управляющего воздействия и, анализируя полученные в процессе моделирования результаты, проводить стабилизацию траектории движения робота.

Список литературы

- 1 Современные военные роботы – боевые системы будущего. URL: <http://militaryarms.ru/voennaya-texnika/boevye-mashiny/voennye-boevye-roboty/>, свободный.
- 2 «Платформа-М»: Многофункциональный боевой робот. URL: <http://www.rosinform.ru/sukhoputnye-voyska/974169-platforma-m-mnogofunktsionalnyy-boevoy-robot/>, свободный.
- 3 «Калашников» перешел на «умное оружие». Комплекс «Соратник» при поддержке беспилотников поддержит пехоту на поле боя. URL: <http://svpressa.ru/war21/article/156336/>, свободный. – Загл. с экрана.
- 4 Робототехнический комплекс пожаротушения «Уран-14». URL: <http://766uptk.ru/index.php?do=staticHYPERLINK> «<http://766uptk.ru/index.php?%20do=static&page=uran-14>»&HYPERLINK «<http://766uptk.ru/index.php?%20do=static&page=uran-14>»page=uran-14, свободный.
- 5 Держанский В. Б., Тараторкин И. А. Прогнозирование динамической нагруженности гидромеханических трансмиссий транспортных машин. Екатеринбург : УрО РАН, 2010. 176 с.
- 6 Держанский В. Б., Тараторкин И. А. Алгоритмы управления движением транспортной машины : монография. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. 142 с.

УДК 539.319

Т.Р. Змызгова

Курганский государственный университет

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОКАЗАНИЙ РЕАКЦИИ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СТЕПЕНИ УСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Рассматривается проблема диагностики работоспособности деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Изложена методика, позволяющая исследовать процесс накопления пластических деформаций в датчиках деформации интегрального типа при циклическом нагружении.

Ключевые слова: датчик деформации интегрального типа, циклическое нагружение, ресурс, металлоконструкция, микротвердость, аппроксимация, полином.

COMPUTER PROCESSING OF INTEGRAL STRAIN GAUGES INDICATIONS FOR DIAGNOSING THE DEGREE OF FATIGUE DAMAGE OF MACHINE PARTS AND STEEL STRUCTURES

Annotation. The article considers the problem of performance capability diagnostics of machine transmissions and carrying systems parts upon readings of integral strain gauges' indications. We expound the technique allowing investigating the process of plastic flows accumulations in integral strain gauges under cyclic loading.

Key words: integral strain gauges, cyclic loading, resource, metal framework, microhardness, approximation, polynomial.

Введение

Проблема диагностики накопления усталостных повреждений в материале деталей машин и металлоконструкций имеет большую актуальность для российского машиностроения. От решения этой проблемы в значительной степени зависят не только сроки создания новых образцов машин, но и возможность диагностики технического состояния металлоконструкций, находящихся в эксплуатации. Одним из перспективных направлений является использование методик, разработанных в середине 80-х годов XX века в Курганском машиностроительном институте (в настоящее время, Курганский государственный университет) научным коллективом под руководством д-ра техн. наук, профессора В.Н. Сызранцева. Эти методики основаны на обработке информации, полученной при помощи датчиков деформации интегрального типа (ДДИТ).

Краткая характеристика ДДИТ и методология их применения

Датчики деформации интегрального типа представляют собой безбазовые датчики, изготавливаемые из металлической фольги, получаемой по специальной технологии, которая гарантирует метрологические свойства датчиков и обеспечивает их более высокую чувствительность к амплитуде циклических деформаций. Конфигурация датчиков определяется формой исследуемой поверхности детали и условиями из размещения. Методика применения датчиков при прогнозировании ресурса деталей и несущих систем машин основана на использовании зависимостей прочностного расчета деталей, корреляционных связей между реакцией датчиков и разрушением деталей и конструкций, полуэмпирических моделей накопления повреждений [1-4].

Реакцией датчиков на амплитуду циклических напряжений и на число циклов деформирования является внешнее изменение состояния поверхности гальванической медной пленки – появление «темных пятен». Эти пятна – следствие необратимых смещений атомов кристаллической решетки в результате накопления пластических деформаций в слое гальванической меди. Они характеризуют внешний эффект и представляют собой линии и полосы скольжения дислокаций. При этом изменяется и структура пленки – в ней возникают зерна (внутренний эффект), которые увеличиваются в размерах с ростом числа циклов нагружения. Этот процесс сопровождается необратимой объемной деформацией вследствие разрыхления материала и изменением механических свойств последнего в функции прошедшего числа циклов нагружения. В работах [1; 2] показано, что момент возникновения первых зерен измененной структуры и первых «темных пятен», а также их плотность и размеры обладают хорошей корреляцией с числом циклов и амплитудой циклических напряжений (деформаций).

При решении практических задач по оценке деформаций и прогнозирования ресурса элементов машин с помощью ДДИТ требуется иметь датчики с различной чувствительностью к амплитуде циклических деформаций. Это достигается применением в качестве материала для изготовления датчиков фольги различных металлов: меди, алюминия, никеля, железа, серебра. В результате изменения свойств фольги чувствительность датчиков по числу циклов их деформирования до появления реакции при заданной амплитуде циклических напряжений может варьироваться от нескольких сот до нескольких миллионов чисел циклов. Кроме того, чувствительность датчиков зависит от состава электролита и параметров электролиза при получении фольги, параметров процесса термомеханической обработки фольги и ее толщины.

Кроме того, чувствительность датчиков ДДИТ к определенной гамме взаимосвязанных факторов (вид напряженного состояния, уровень амплитуды деформации, скорость нагружения и т.д.) обуславливает необходимость проведения тарировочных испытаний в условиях максимально приближенных к эксплуатационным.

Решение практических задач с использованием ДДИТ производится в два этапа. На первом этапе осуществляется построение для ДДИТ тарировочных зависимостей, как правило, на специальных образцах. В процессе второго этапа осуществляют испытания исследуемых изделий с ДДИТ до появления на них реакции, и выполняется съем информации с ДДИТ, помещенных на исследуемых участках поверхности детали. Оба этапа предусматривают испытания образца и детали в условиях циклического деформирования.

Поскольку изменение состояния поверхности или свойств ДДИТ, принимаемых в качестве их ре-

акции на величину циклических деформаций, проявляются в различных формах и зависят от условий нагружения деталей, то и методы калибровки ДДИТ, обеспечивающие возможность измерения, могут быть разнообразными. В процессе калибровки ДДИТ необходимо определить функциональную зависимость (в виде совокупности экспериментальных точек или аналитической форме), связывающую амплитуду циклических деформаций или напряжений с числом циклов нагружения по принятому критерию оценки реакции датчика.

Интенсивное развитие и интеграция информационных и компьютерных технологий в научные исследования, актуальность развития существующих способов определения усталостных повреждений и прогнозирования ресурса на основе показаний ДДИТ привели к необходимости создания новых автоматизированных методов обработки экспериментальных данных, полученных при помощи ДДИТ. При этом в качестве исходной экспериментальной информации используется цифровое изображение, регистрирующее степень накопленных усталостных повреждений на исследуемом участке поверхности детали [7]. Использование компьютерных средств и методов обработки цифровых изображений реакции ДДИТ для оценки нагруженности деталей машин и их конструкций в условиях эксплуатационных испытаний представляет собой новое направление, которое позволит существенно расширить область применения ДДИТ, повысить информационность и достоверность методов диагностики усталости деталей машин, однозначность идентификации выявленных параметров.

Задача восстановления тарировочных зависимостей для ДДИТ по выборкам ограниченного объема

В данной работе предлагается метод восстановления одномерных тарировочных зависимостей, ориентированный на построение соотношений вида $\delta = \delta(N)$. В качестве выходного параметра ДДИТ, характеризующего кинетику распространения реакции на датчике при последовательно возрастающем числе циклов нагружения N , используется относительная площадь измененной структуры материала датчика, которая фиксируется на основе измерения площадь «темных пятен» δ . Оценка уровня циклических деформаций осуществляется на основе компьютерной обработки цифровых изображений реакции ДДИТ [6-8]. Одной из основных проблем при аппроксимации экспериментальных точек аналитической зависимостью в условиях малых выборок является выбор пространства. Описанный в данной работе комплекс алгоритмов основан на теории минимизации функционала эмпирического риска [5]. Оптимальная тарировочная зависимость строится автоматически, наилучшим образом соотнося качество приближения экспериментальных данных и сложность выбранной функции. Основу предложенных алгоритмов составляют числен-

ные методы оптимизации и методы нелинейного регрессионного анализа. Заметим, что их реализация может быть осуществлена только в процессе компьютерного моделирования.

Метод структурной минимизации эмпирического риска

Рассмотрим задачу восстановления одномерной аппроксимирующей тарировочную зависимости вида $\delta = \delta(N)$ по результатам выборки в виде совокупности значений относительной площади «темных пятен» на поверхности ДДИТ

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ числа циклов, при которых осуществлялась обработка реакции на датчиках

N_1, N_2, \dots, N_n . Алгоритмическое построение приближения функции регрессии заключается в поиске функции, минимизирующей ее среднее квадратичное отклонение от экспериментальных значений, т.е. эмпирический риск

$$I_Y(\delta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\delta_i - \delta(N_i))^2}{\sigma_i^2},$$

где (N_i, δ_i) , $i = 1, \dots, n$ – независимые пары значений функции δ и ее аргумента N , σ_i^2 – дисперсии замеров δ_i .

Задача восстановления искомой зависимости может быть сведена к математической процедуре выбора размерности пространства сглаживающих функций [5]. Оптимальной размерностью будет считаться та, при которой достигается минимум функционала эмпирического риска по эмпирическим данным, что соответствует минимуму среднеквадратической ошибки сглаживания.

Алгоритм построения полиномиального приближения одномерной тарировочной зависимости

Предлагаемый алгоритм построения полиномиального приближения одномерной тарировочной зависимости $\delta = \delta(N)$ на основе экспериментальной выборки $(N_1, \delta_1, \dots, N_n, \delta_n)$ основан на вычислении коэффициентов среднеквадратического приближения в базисе полиномов Чебышева. При этом восстановление искомой зависимости сводится к рассмотрению многочленов Чебышева различных степеней, каждый из которых для своей степени минимизирует функционал эмпирического риска, и в выборе из них полинома, для которого критерий $J(k)$ принимает наименьшее значение.

Компьютерная реализация алгоритма включает в себя следующие этапы:

1 Выбирается минимальная $NMIN$ и максимальная $NMAX$ степень полинома. Величины $NMIN$ и $NMAX$, $0 \leq NMIN \leq NMAX \leq 19$,

являются входными параметрами программы. Степень полинома k принимается равной $NMIN - 1$.

2 Экспериментальные данные N_1, N_2, \dots, N_n упорядочиваются в порядке возрастания и затем приводятся к отрезку $[-1; 1]$ по формуле $t_i = (N_i - A) / B$, где

$$A = \frac{(\max_i N_i + \min_i N_i)}{2.0},$$

$$B = \frac{(\max_i N_i - \min_i N_i)}{2.0}.$$

В результате получаем выборку t_1, t_2, \dots, t_n .

3 Степень полинома k увеличивается на единицу, вычисляется матрица \hat{A} значений полиномов Чебышева степени от 0 до k в точках

t_1, t_2, \dots, t_n . Значения полинома нормируются к погрешностям измерений. Вычисления осуществляются по формулам

$$S_{j+1} = (S_j S_{j-1}) \begin{pmatrix} 2t_1 & \dots & 2t_n \\ -1 & \dots & -1 \end{pmatrix},$$

где $j = 2, \dots, k$, $S_j - j$ -й столбец матрицы \hat{A} значений полиномов Чебышева в экспериментальных точках, $(S_j S_{j-1})$ – матрица, состоящая из двух столбцов:

$$S_1 = \left(\frac{1}{\sigma_1}, \dots, \frac{1}{\sigma_n} \right)^T,$$

$$S_2 = \left(\frac{t_1}{\sigma_1}, \dots, \frac{t_n}{\sigma_n} \right)^T.$$

Здесь σ_i^2 – дисперсии замеров δ_i .

4 Вычисляются скалярные произведения столбцов матрицы \hat{A} с номерами $1 \leq i \leq j \leq k + 1$ и скалярные произведения столбцов этой матрицы с вектором экспериментальных значений зависимой переменной $(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$. Верхний треугольник матрицы нормальной системы линейных алгебраических уравнений переписывается по столбцам в элементы матрицы B .

5 На основе метода наименьших квадратов можно показать, что параметр α , доставляющий минимум функционала эмпирического риска, является решением системы нормальных уравнений с симметрической матрицей коэффициентов:

$$B^T \cdot B \alpha = B \cdot B^T \delta.$$

Решаем полученную систему уравнений относительно параметра α , пользуясь тем, что

$$\alpha = (B^T \cdot B)^{-1} B^T \delta$$

6 Вычисляем достигнутую величину функционала эмпирического риска:

$$I_{\alpha}(\alpha^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\delta_i - \sum_{j=0}^k \alpha_j^* Q_j(N_i) \right)^2 / \sigma_i^2,$$

которая соответствует найденному значению α^* и характеризует качество построенной тарировочной зависимости, оцениваемое по той же выборке, для которой это приближение строилось.

7 Искомая зависимость соответствует полиному, для которого критерий $J(k)$ принимает наименьшее значение. В выражении критерия

присутствует параметр $1 - \eta$ – вероятность, с которой справедлива эта оценка качества построенного приближения. Компьютерные тестирования данного алгоритма показали, что для достижения наибольшей эффективности достаточно взять $\eta = 0,05$.

Далее вычисляется знаменатель критерия при выбранном значении параметра η . Если знаменатель критерия $J(k)$ отрицателен, то при данном объеме выборки нельзя построить полином степени k с заданным уровнем надежности, алгоритм заканчивает свою работу. Если знаменатель положителен, вычисляем значение критерия. При уменьшении величины критерия запоминаем его значение, степень полинома, решение системы и величину эмпирического риска.

8 Если степень полинома меньше максимальной заданной $NMAX$, переходим к третьему пункту алгоритма и продолжаем вычисления в указанном порядке.

9 На основе вектора $\alpha = (\alpha_0, \dots, \alpha_k)^T$ решения нормальной системы линейных уравнений с симметрической матрицей коэффициентов $B^T \cdot B \alpha = B \cdot B^T \delta$ определяем итоговые значения коэффициентов разложения построенной зависимости.

Общая схема описанного выше алгоритма приведена на рисунке 1.

Компьютерная реализация алгоритма восстановления одномерной тарировочной зависимости на основе минимизации функционала эмпирического риска

Входными параметрами программы, реализующей данный алгоритм, являются число экспериментальных данных, массивы значений переменных. Результатом работы программы являются оптимальная степень полученного полинома, массив значений его коэффициентов в виде разложения по полиномам Чебышева и в виде обычного многочлена.

Иллюстрация компьютерной реализации данного алгоритма приведена на рисунке 2.

Данные результаты были получены в процессе решения задачи построения полиномиального приближения к регрессии, значения которой были заданы со случайной помехой следующим образом:

- общее число экспериментальных пар точек $L=21$;
- массив значений независимой переменной: 0.000; 0.314; 0.628; 0.942; 1.256; 1.570; 1.884; 2.198; 2.512; 2.826; 3.140; 3.454; 3.768; 4.082; 4.396; 4.710; 5.024; 5.338; 5.652; 5.966; 6.280;
- массив значений зависимой переменной: 0.670; 1.000; 1.492; 1.915; 2.167; 3.500; 4.816; 5.736; 6.242; 6.500; 6.725; 7.000; 7.325; 8.000; 8.750; 9.500; 10.444; 11.000; 12.500; 14.612; 15.857.

Результаты тестирования и вид аппроксимирующей зависимости приведены на рисунке 3. Графическая иллюстрация показывает, что данная методика демонстрирует хорошее приближение экспериментальных точек построенной кривой.

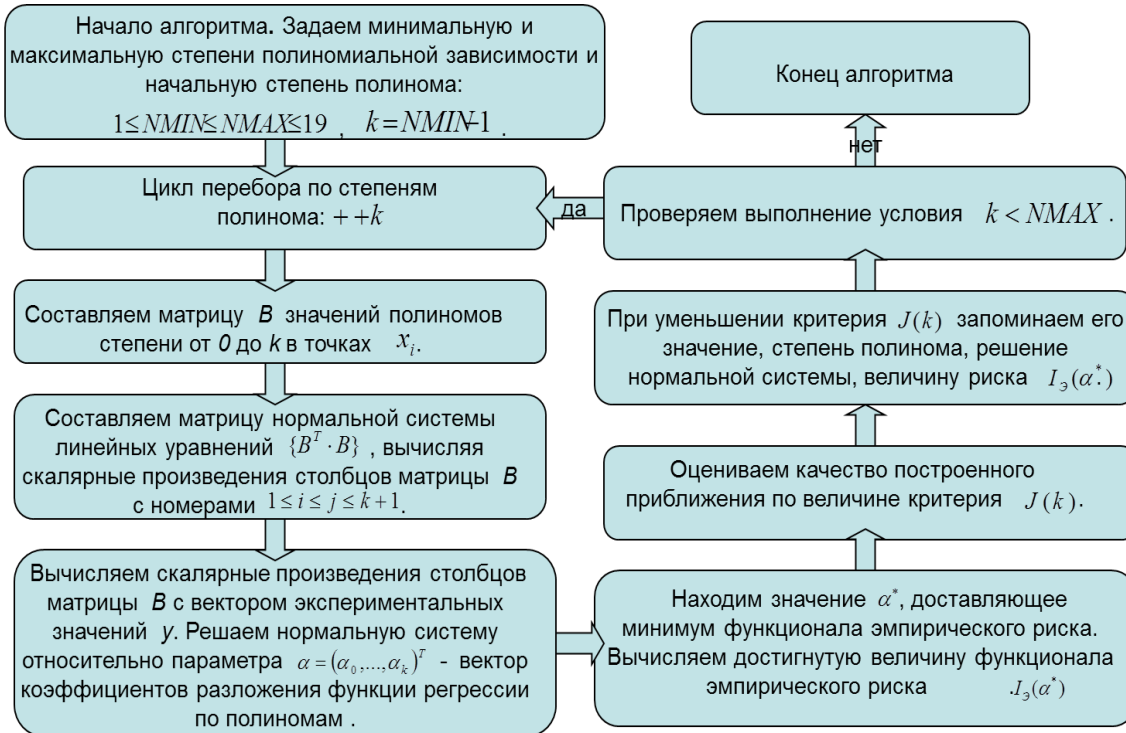


Рисунок 1 – Алгоритм восстановления одномерной зависимости по выборкам малого объема на основе минимизации функционала эмпирического риска

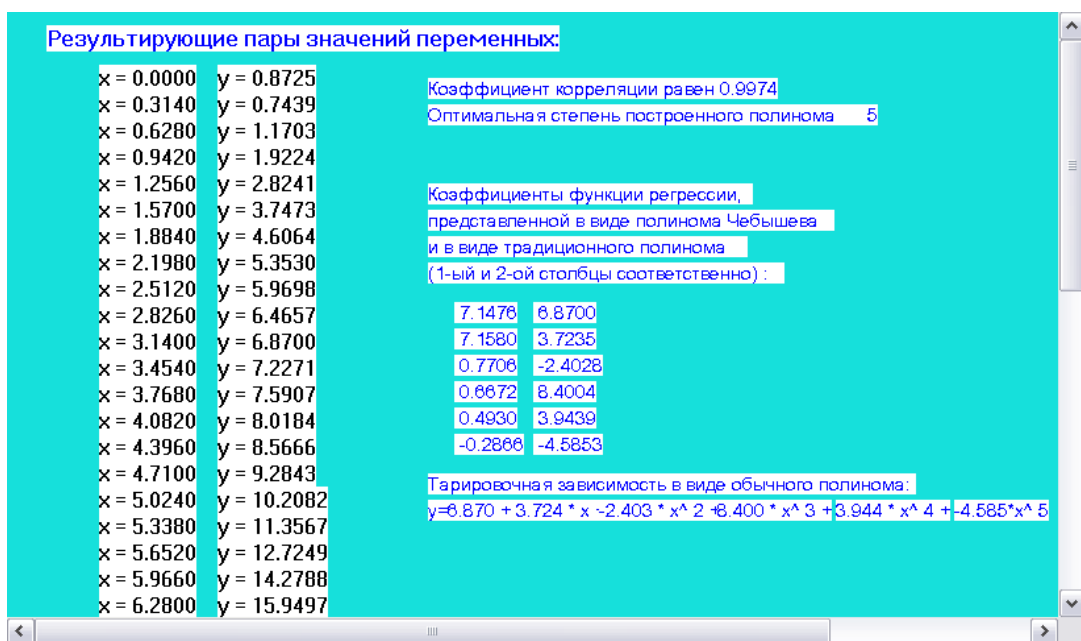


Рисунок 2 – Численные результаты тестирования алгоритма

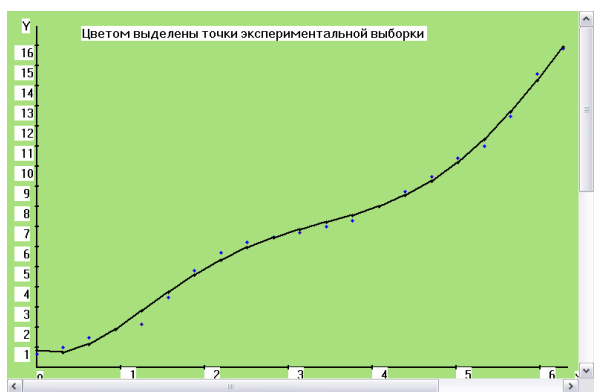


Рисунок 3 – Графическая интерпретация численных данных

Таким образом, сложная задача построения одномерных функциональных зависимостей на основе экспериментальных выборок ограниченного объема может быть разложена на этапы, на каждом из которых успешно можно использовать формализованные методы обработки данных. Данная методика может быть реализована при решении более сложных задач восстановления многомерных тарировочных зависимостей.

Список литературы

- 1 Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л. Измерение циклических деформаций и прогнозирование долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск : Наука, 2004. 206 с.
- 2 Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л., Сызранцева К. В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск : Наука, 2004. 188 с.
- 3 Окубо Хадзиме. Определение напряжений гальваническим меднением / пер. с японск. М. : Машиностроение, 1968. 152 с.
- 4 Розенберг А. Ю. Методы экспериментальной оценки нагруженности и долговечности зубчатых колес с помощью гальванических медных датчиков циклических деформаций : дис. ... канд. техн. наук. Курган, 1985. 223 с.
- 5 Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / под ред. В. Н. Вапника. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 816 с.
- 6 Змызгова Т. Р. Новый метод фильтрации изображений реакций датчиков деформации // Технологии техносферной безопасности. 2012. Вып. 4 (44). 9 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-4/16-04-12.ttb.pdf>.
- 7 Змызгова Т. Р. Экспериментальная методика регистрирования и оценки накопленного усталостного повреждения в материале нефтегазового трубопроводного оборудования с датчиков деформаций интегрального типа // Экспозиция. Нефть. Газ. 2012. № 7 (25). С. 14-18.
- 8 Змызгова Т. Р. Особенности бинаризации полутоновых изображений реакции датчиков деформаций // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 2 (54). 8 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-4/16-04-12.ttb.pdf>.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.86.065

В.А. Бубнов
Курганский государственный университет

УПРОЧНЕНИЕ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Аннотация. Статья посвящена аустенитным сталям, их применению в различных отраслях машиностроения. Рассмотрено влияние холодной пластической деформации на механические и физические (магнитные) свойства материала. Представлена качественная и количественная оценка перехода аустенита в мартенсит деформации в зависимости от степени деформации. Даны рекомендации для снижения металлоемкости машин и аппаратов за счет упрочнения пластическим деформированием.

Ключевые слова: аустенитные стали, аустенит, мартенсит, пластическая деформация, степень деформации, кольцевые заготовки и детали.

V.A. Bubnov
Kurgan State University

COLD PLASTIC DEFORMATION HARDENING OF AUSTENITIC STEELS

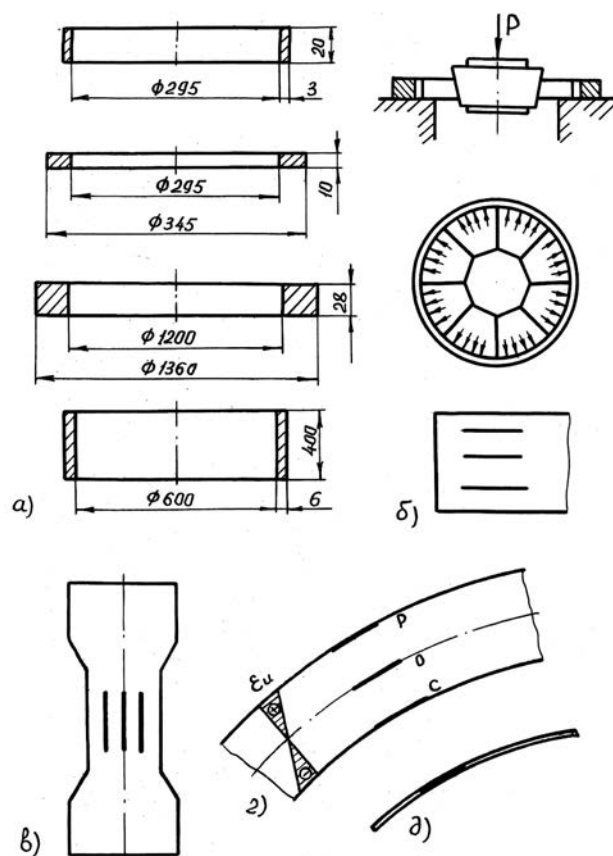
Annotation. The article is devoted to austenitic steels, and their application in various branches of engineering. We consider the effect of cold plastic deformation on the mechanical and physical (magnetic) properties of the material. We presented a qualitative and quantitative evaluation of the transition of austenite to deformation martensite, in depending on the degree of deformation. We suggest recommendations for the reduction of metal consumption of machines and devices by means of plastic deformation hardening.

Keywords: austenitic steel, austenite, martensite, plastic deformation, the degree of deformation, ring blanks and parts.

В химическом, нефтяном и пищевом машиностроении, в медицинской технике и оборудовании для атомных электростанций широкое применение находят аустенитные стали. Этот класс сталей характерен тем, что при достаточно высоком содержании ряда легирующих элементов (Cr, Ni – расширяющих γ область) получают стали,

в которых содержится аустенит при охлаждении до комнатной температуры [1]. Это хромоникелевые стали с содержанием хрома от 10 до 27% и никеля более 7% по ГОСТ 5632-72 [2]. Стандарт предусматривает порядка 50 марок сталей данного класса.

При изготовлении различного технологического оборудования из аустенитных сталей широко используются технологические процессы с применением пластического деформирования (гибка, вальцовка, штамповка, калибровка, правка, поверхностное обкатывание). Пластическая деформация в холодном состоянии приводит к активному изменению физических и механических свойств материала, оказывает влияние на несущую способность конструкций.



а – исследуемые элементы, б – образцы из исходного материала; в – из растянутой пластины; г – из гнутого бруса; д – из обечайки

Рисунок 1 – Исследуемые элементы, схемы деформирования и схемы вырезания образцов для испытания на растяжение

В Курганском машиностроительном институте, а затем в Курганском государственном университете и Курганском заводе химического машиностроения при участии Московского «НИИХИММАШа» уже более 30 лет ведутся работы по исследованию изменения физических и механических свойств аустенитных сталей на при-

мере 12X18H9T и 12X18H10T при холодной пластической деформации в зависимости от степени деформации (ϵ_0). Интервал исследования по степени деформации $\epsilon_0 = (0 \text{--} 45) \%$ [3].

Исследование механических свойств проводилось на образцах изготовленных из исходного материала и из металла, прошедшего упрочнение пластическим деформированием в полном объеме (растяжением, сжатием, пластическим изгибом). Исходные элементы, схемы деформирования и схемы вырезания образцов представлены на рисунке 1. На рисунке 2 представлено изменение механических характеристик этих сталей в зависимости от степени деформации (ϵ_0), а на рисунке 4 изменение ударной вязкости этой же стали.

Для большей достоверности испытания повторялись несколько раз на различных поставках (плавках) металла и параллельно были проведены в лаборатории прочности «НИИХИММАШа» (г. Москва) на материалах, представленных Курганским заводом химического машиностроения.

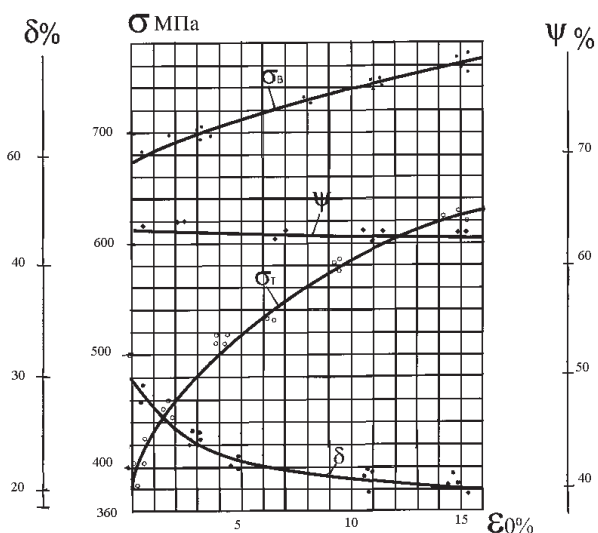


Рисунок 2 – Механические характеристики стали 12X18H10T в зависимости от степени деформации ϵ_0

Механические характеристики сталей различных поставок имеют значительные расхождения по величине, однако характер упрочнения и зависимость механических характеристик от степени деформации имеют одни и те же закономерности.

Предел прочности (σ_b) и предел текучести (σ_t) увеличивают свои величины при наклепе наиболее активно в начальный период упрочнения при степенях деформации $\epsilon_0 \leq 5\%$.

Остаточное относительное удлинение (δ) несколько активнее снижает свою величину в начальный период упрочнения ($\epsilon_0 \leq 5\%$), а далее активность этого снижения уменьшается, и оно имеет равномерный характер.

Остаточное относительное сужение (ψ) мало изменяет свою величину, а в области $\epsilon_0 \leq 5\%$ эта характеристика пластичности материалов оста-

ется практически неизменной. Для стали 12X18H10T при степени деформации $\epsilon_0 \leq 15\%$ снижение остаточного относительного сужения не превышает 4%. Незначительное изменение остаточного сужения у сталей, прошедших упрочнение холодной пластической деформацией, на основе анализа многочисленных диаграмм растяжения ($P - \Delta l$) и механизма образования шейки на образце при испытании образцов на растяжение может быть объяснено тем, что образование шейки начинается при условном напряжении, меньшем предела прочности (σ_b) или равном ему [4]. Характер участка диаграммы за точкой, характеризующей предел прочности, не имеет значительных отличий для исходного и деформированного материала. Основное отличие в диаграмме находится на той части, которая соответствует деформированию от начала растяжения до предела прочности. К началу же образования шейки неупрочненный образец удлинился несколько больше и изменил свою первоначальную площадь поперечного сечения больше, чем образец из упрочненного материала. Но так как на величину остаточного относительного сужения или, точнее говоря, на величину конечной площади F_k более сильно влияет та часть изменения площади поперечного сечения, которая происходит после начала образования шейки, то и величины этих изменений существенных отличий для упрочненных и неупрочненных материалов не имеют, и величина остаточного относительного сужения для упрочненной стали не показывает значительного снижения против исходной неупрочненной стали.

В Институте физики металлов Уральского научного центра АН СССР были проведены исследования механических и магнитных свойств образцов холоднокатаных труб из нержавеющей (аустенитной) стали ОХ18Н10Т при степенях деформации $\epsilon_0 = 5 \text{--} 45\%$ [5]. Пластическая деформация аустенитных нержавеющей сталей типа 18-8 приводит к изменению их фазового состава вследствие протекания $\gamma - \alpha$ превращения. Возникающая при этом α – фаза (мартенсит деформации) оказывает существенное влияние на механические и магнитные свойства. По материалам исследований на рисунке 3 представлены зависимости изменения предела текучести σ_t , предела прочности σ_b и остаточного относительного удлинения $\delta\%$ [5].

Характер и закономерность деформационного упрочнения аустенитных сталей по этим механическим характеристикам, полученные нами (рисунком 2) и в работе [5], совпадают.

Значительный интерес представляет поведение ударной вязкости для аустенитных сталей при упрочнении их холодной пластической деформацией (рисунком 4).

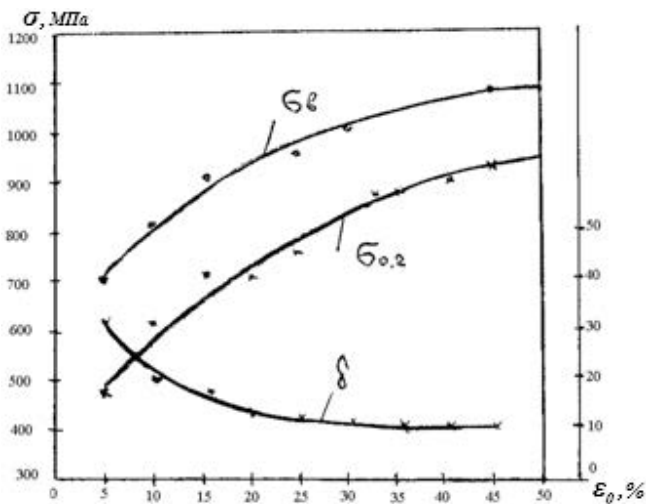


Рисунок 3 – Механические характеристики образцов холоднокатаных труб из стали 0X18H10T в зависимости от степени деформации, по данным Института физики металлов Уральского научного центра АН СССР

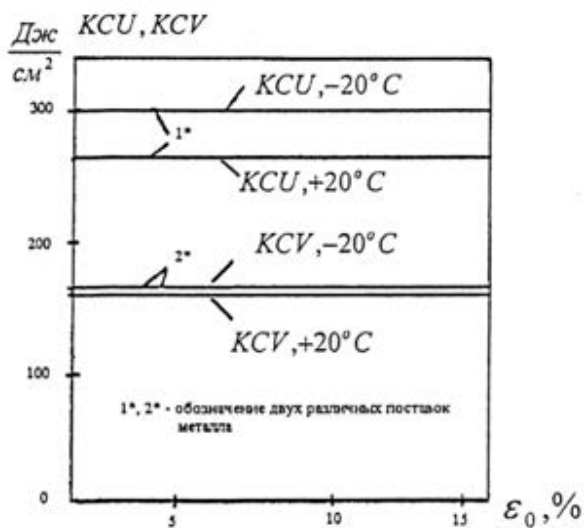


Рисунок 4 – Зависимость ударной вязкости (KCU, KCV) от степени деформации

Установлено, что ударная вязкость при -20°C выше, чем при $+20^{\circ}\text{C}$. Это отличительная особенность аустенитных сталей. Результаты испытаний на ударный изгиб упрочненной стали 12X18H10T показывают, что ударная вязкость в зависимости от степени деформации в интервале $\epsilon_0 = 20\%$ меняется незначительно как при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, так и при температуре -20°C и -40°C . Так сталь 12X18H10T при величине ударной вязкости исходного материала $KCU = 262$ после холодного пластического деформирования ($\epsilon_0 = 20\%$) имела практически почти такую же величину $KCU = (256 \pm 262)$. При величине $\epsilon_0 \leq 10\%$ изменение ударной вязкости для стали 12X18H10T по параметру обнаружить не удалось. Изменение ударной вязкости для сталей 12X18H9T и 12X18H10T в зависимости от степени деформации по параметру KCV существенного отличия от параметра KCU не имеет. Зависимость изменения ударной вязкости аустенитных сталей 12X18H9T и

12X18H10T от степени деформации при отрицательных температурах (-20°C) носит тот же характер, что и при положительных.

Анализ технологических операций, выполненных с применением холодного пластического деформирования, показывает, что подавляющее их большинство выполняется при величине степени деформации $\epsilon_0 \leq 10\%$ (вальцовка обечаек и конусов, гибка труб, правка, гибка фланцев из полосы, калибровка кольцевых деталей и заготовок пластическим растяжением и обжатием). Материалы выполненных исследований изменения ударной вязкости при деформационном упрочнении аустенитных сталей позволяют сделать вывод, что ударная вязкость этих сталей при степени деформации $\epsilon_0 \leq 10\%$ практически сохраняет величину ударной вязкости исходного материала или близка к ней.

Для комплексной оценки работоспособности деталей машин и аппаратов, прошедших деформационное упрочнение (наклеп), значительный интерес представляют исследования наклепа на усталостную прочность материала в условиях работы при циклически меняющихся напряжениях. Нами выявлялось влияние деформационного упрочнения на предел выносливости σ_R . Испытания проводились при симметричном цикле нагружения в условиях чистого изгиба на установке МУИ-6000. Образцы вырезались и изготовлялись из прутков, прошедших упрочнение пластическим растяжением (рисунок 5 а, б).

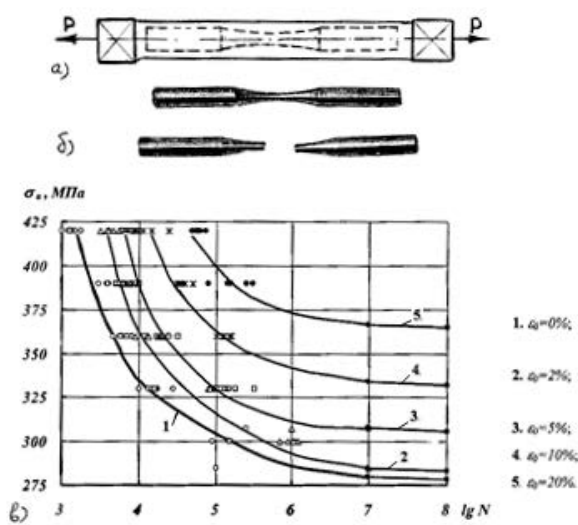
Полученные экспериментальные результаты статистически обрабатывались по ГОСТ 25.502-79 [6]. По результатам испытаний построены кривые усталости (кривые Велера) в полулогарифмических координатах (рисунок 5 в).

Из анализа кривых усталости следует, что их расположение для упрочненной стали выше кривой усталости исходного материала (кривая 1), и тем выше, чем выше степень деформации ϵ_0 . Следовательно, сталь аустенитного класса проявляет способность к упрочнению не только по пределам текучести σ_T , прочности σ_B , твердости (НВ), но и по пределу выносливости (σ_{-1}). Все эти механические характеристики повышаются в зависимости от степени деформации. Нами исследовалось поведение этих характеристик в интервале степени деформации $\epsilon_0 = 0-20\%$.

Результаты испытаний упрочненной аустенитной стали 12X18H10T на усталостную прочность показали существенное повышение предела выносливости (σ_{-1}) в зависимости от степени деформации и представлены на рисунке 6.

Изменение фазового состава аустенитных сталей с содержанием никеля от 8 до 12% пластической деформации ведет к изменению магнитных свойств этих сталей, так как α – железо обладает магнитными свойствами, а γ – железа они отсутствуют. Немagnetные аустенитные стали до деформации становятся магнитными после деформации, и при этом чем выше степень де-

формации, тем сильнее проявляются магнитные свойства.



а – схема деформирования исходного металла;
б – образцы для испытания на усталость;
в – кривые усталости

Рисунок 5 – Исследование прочности стали 12X18H10T при циклически меняющихся напряжениях в зависимости от степени деформации материала ϵ_0

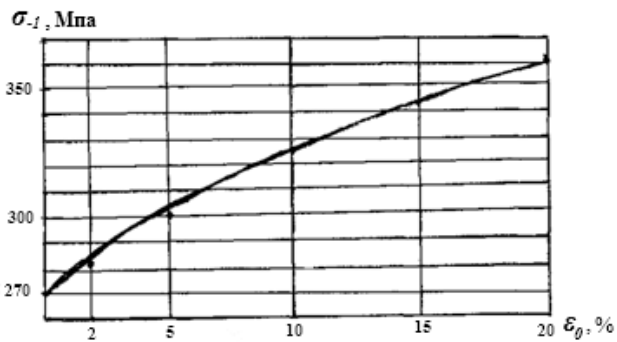


Рисунок 6 – Зависимость предела выносливости $\sigma-1$ от степени деформации (ϵ_0) для аустенитной стали 12X18H10T

Итак, при холодном пластическом деформировании аустенитных сталей наблюдается деформационное упрочнение за счет одновременного протекания двух процессов: дислокационного и фазового перехода γ - железа в α - железо с образованием мартенсита деформации.

На основании аппроксимации экспериментальных данных получена зависимость для определения предела выносливости аустенитных сталей, прошедших деформационное упрочнение (интервал $\epsilon_0 = 0-20\%$), в зависимости от исходного предела выносливости и степени деформации:

$$\sigma-1\theta = \sigma-1 + (5,7 - 0,06\epsilon_0) \epsilon_0,$$

где $\sigma-1\theta$ – предел выносливости деформированной (упрочненной) стали; $\sigma-1$ – предел выносливости исходной недеформированной стали; ϵ_0 – степень деформации в %.

Значительный интерес представляет процесс перехода аустенита в мартенсит в аустенитных сталях при холодной пластической деформации

[5; 7; 8]. Нами были проведены исследования перехода аустенита в мартенсит при холодной пластической деформации на примере аустенитной стали 12X18H10T в зависимости от степени деформации (ϵ_0). Исследования проводились с целью качественной и количественной оценки этого процесса. Была сделана попытка определения количественного перехода γ – железа в α – железо при холодном пластическом деформировании аустенитных сталей в интервале степени деформации $\epsilon_0 = (0-45\%)$ и установлении возможной глубины этого перехода. Исследования проводились на цилиндрических образцах диаметром $d_0=10$ мм, высотой $h_0 = 10$ мм и $h_0 = 15$ мм (рисунок 7). Сжатие образцов выполнялось на разрывных машинах с усилием сжатия (или растяжения) $P=10$ тс и $P=25$ тс.

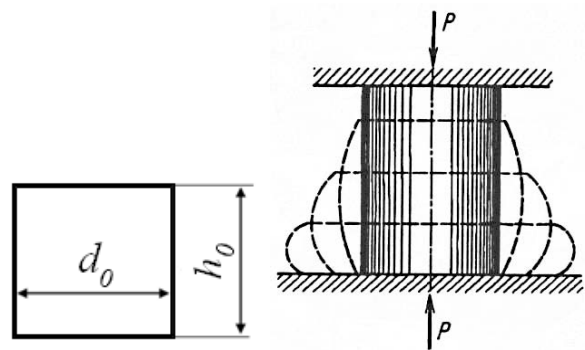
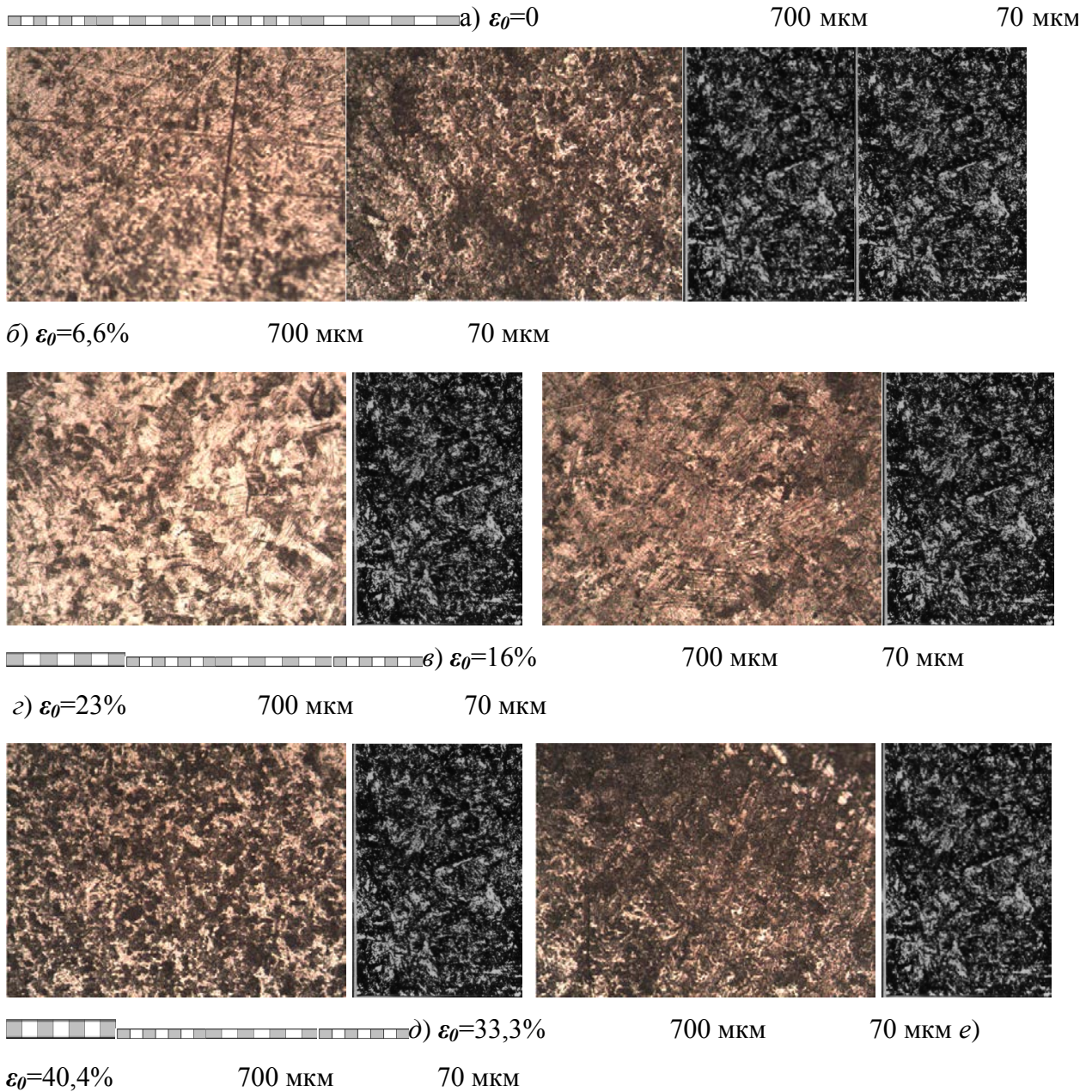


Рисунок 7 – Схема деформирования и исходный образец

После изготовления шлифов на металлографическом микроскопе качественно оценивался переход аустенита в мартенсит ($\gamma\text{Fe} \rightarrow \alpha\text{Fe}$) при увеличении в 200 раз. Результаты этих исследований представлены на рисунке 8. На снимках видно, что при степенях деформации $\epsilon_0 = 23\%$, $\epsilon_0 = 33,3\%$ и $\epsilon_0 = 40,4\%$ значительная часть аустенита перешла в мартенсит.

Одновременно проявляется активное изменение магнитных свойств. Деформированные образцы стали чувствительны к воздействию на них магнитом.

Для более качественной оценки фазового перехода по представленным образцам в лаборатории материаловедения Института физики металлов Уральского отделения РАН магнитометрическим методом была сделана количественная оценка перехода аустенита в мартенсит в зависимости от степени деформации. Механизм изменения структуры аустенитной стали 12X18H10T от воздействия холодной пластической деформации на основании изменения магнитных свойств материала показал довольно точную количественную оценку аустенитно-мартенситного перехода в зависимости от степени деформации ϵ_0 (таблица 1).



а – структура аустенитной недеформированной стали,
 б, в, г, д, е – структуры деформированной стали на различную степень деформации
 Рисунок 8 – Структура аустенитной стали 12Х18Н10Т в зависимости от степени холодной пластической деформации ϵ_0 в сравнении со структурой α – железа (мартенсита)

Таблица 1 – Оценка аустенитно-мартенситного перехода в зависимости от степени деформации ϵ_0

| Усилие сжатия Р кг | Степень деформации $\epsilon_0 = \cdot 100\%$ | Логарифмическая степень деформации $\epsilon_0 =$ | процент мартенсита (ОЦК решетки) |
|-----------------------|---|---|----------------------------------|
| 0 (исходный материал) | 0 | 0 | 15,7 |
| 3000 | 1 | 0,01 | 18,9 |
| 6000 | 11,2 | 0,12 | 21,3 |
| 9000 | 20,3 | 0,23 | 40,0 |
| 12000 | 32,7 | 0,40 | 54,4 |
| 15000 | 42 | 0,54 | 54 |

Из полученных результатов видно, что чем выше степень деформации, тем больше аустенита переходит в мартенсит. В исследуемом интервале деформации $\epsilon_0 = (0-45\%)$ при $\epsilon_0 = 42\%$ мартенсита в деформированном материале оказалось 54,4%, что говорит о том, что полного перехода аустенита в мартенсит добиться не удалось и в деформированном металле структура аустенитно-мартенситная. Добиться полного перехода аустенита в мартенсит в аустенитных сталях при холодном пластическом деформировании невозможно (рисунок 9).

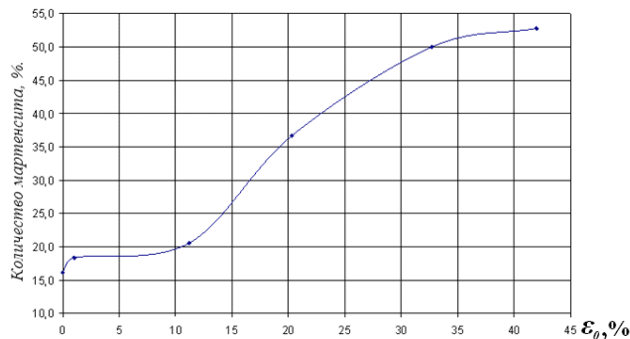


Рисунок 9 – Количество мартенсита (ОЦК – фазы) в холодно-деформированной стали 12Х18Н10Т в зависимости от степени деформации ϵ_0

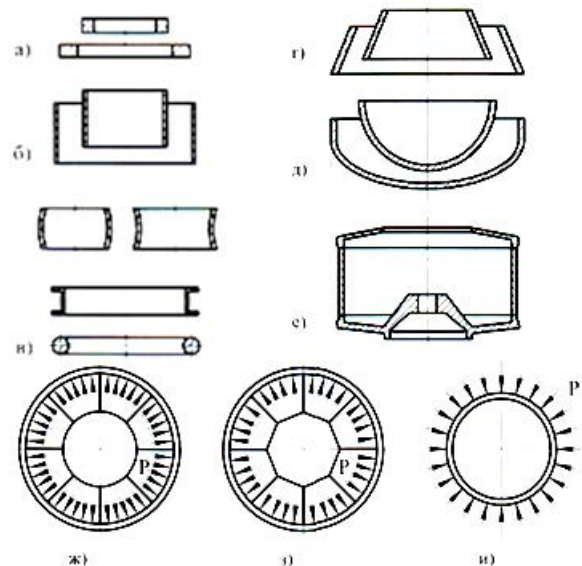
Как уже ранее отмечалось, большинство технологических операций, связанных с холодной пластической деформацией, производится при степени деформации $\epsilon_0 \leq 10\%$. При такой степени деформации мартенсита содержится не более 20%, а основная часть остается аустенитной структурой (γ фаза $\approx 80\%$).

Следует заметить, что повышение прочностных характеристик аустенитных сталей ($\sigma_{пц}$, σ_T , $\sigma_{св}$, σ_{-1} , НВ), полученное при холодной пластической деформации, с течением времени (естественное старение) не исчезает и не изменяется. На заводе Курганхиммаш и в Курганском машиностроительном институте (период 1985-1995 гг.) были проведены оценки механических характе-

ристик упрочненных аустенитных сталей после 3-летнего и 5-летнего естественного старения, механические характеристики не изменялись, оставались стабильными.

Активное упрочнение аустенитных сталей пластическим деформированием с сохранением при этом сталями высокой пластичности дает основание для широкого применения упрочняющих металлосберегающих технологий. Особый эффект можно получать на деталях и узлах кольцевой формы (рисунок 10).

В целях повышения точности заготовок и деталей можно успешно применять калибровку кольцевых элементов растяжением пластической деформацией или обжатием в специальных многосекционных штампах на гидравлических прессах или специальных клиновых прессах (рисунок 10), добиваясь при этом одновременно и повышения несущей способности этих элементов за счет повышения прочностных характеристик материала [9; 10; 11; 12]. Величину степени деформации при выполнении калибровки кольцевых деталей из пластичных аустенитных сталей следует рекомендовать в пределах $\epsilon_0 = (1,6-2,5)\%$.



а – фланцы аппаратов; б – обечайки; в – бандажные кольца с профильным сечением и из профильного проката; г – конусы; д – днища сферические и эллиптические; е – роторы центрифуг; ж, з – схемы деформирования пластическим растяжением в секционных штампах; и – деформирование пластическим обжатием.
Рисунок 10 – Детали и узлы кольцевой формы и схемы деформирования

Так, для кольцевых деталей (обечайки, бандажные заготовки фланцев, кольца жесткости) можно обеспечивать овальность ($\Delta D = D_{max} - D_{min}$) в пределах $\Delta D = 0,31,2$ мм для диаметров $D_{в} = 400-2000$ мм, а колебание длины развертки не превышает 0,05%. Это позволяет существенно уменьшать припуски под механическую обработку, а для деталей и заготовок без механической обработки – повысить качество сборочных и сва-

рочных работ, значительно снизить подгоночные работы.

Вследствие повышения прочностных характеристик (σ_T , σ_B , σ_{-1}) аустенитных сталей при пластическом деформировании в расчетах на прочность целесообразно рассматривать вопрос о повышении допускаемых напряжений $[\sigma]$ на $15 \pm 20\%$, но при этом в технических требованиях на изготовление детали или узла должно быть заложено требование о проведении упрочняющей технологии (операции) с указанием степени деформации.

Список литературы

- 1 Гуляев А. П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1986. 544 с.
- 2 ГОСТ 5632-72. *стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные марки*. М., 1972. 59 с.
- 3 Бубнов В. А. *Деформационное упрочнение аустенитных сталей и снижение металлоемкости оборудования // Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2008. №7. С. 45-47.
- 4 Малинин Н. Н. *Прикладная теория пластичности и ползучести*. М.: *Машиностроение*, 1968. 400 с.
- 5 Михеев М. Н., Беликова М. М., Витколова Р. Н. и др. *Электромагнитный метод определения мартенсита деформации в нержавеющей сталях // Дефектоскопия*. 1985. № 10. С. 48-51.
- 6 ГОСТ 25.502-79. *Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость*. М., 1980. 32 с.
- 7 Сагарадзе В. В., Уваров А. И. *Упрочнение и свойства аустенитных сталей*. Екатеринбург: *РИО УрО РАН*, 2012. 720 с.
- 8 Завалишин В. А. *Перераспределение легирующих элементов и изменение магнитных свойств при интенсивной холодной деформации Fe-Cr-Ni аустенитных сплавов: дис. ... канд. физ.-мат. наук*. Екатеринбург, 2002, 168 с.
- 9 Бубнов В. А. *Повышение точности обечаек и заготовок фланцев пластическим растяжением // Химическое и нефтяное машиностроение*. 1985. № 10. С. 26-27.
- 10 Бубнов В. А. *Совершенствование конструкции и технологии изготовления роторов маятниковых центрифуг // Химическое и нефтяное машиностроение*. 1986. № 4. С. 28-29.
- 11 Бубнов В. А. *Металлосберегающая технология изготовления фланцев химического оборудования // Химическое и нефтяное машиностроение*. 1987. № 5. С. 32-34.
- 12 Бубнов В. А., Вотинов В. А. *Повышение точности эллиптических днищ пластическим обжатием // Кузнечно-штамповочное производство*. 1988. № 9. С. 21-22.

УДК 669.046.516:658.567.1

А.И. Гарост, Е.В. Кривоносова
Белорусский государственный
технологический университет

ЛИТЕЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ И ПОЛИМЕРНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. Приведены результаты разработок по созданию литейных материалов из металлосодержащих промышленных отходов и

полупродуктов смежных производств, методов их пакетирования. В качестве восстановителей используются нетрадиционные для металлургического передела материалы, а именно: углеродсодержащие органические высокомолекулярные полимерные материалы (вмс) синтетического происхождения, в том числе биологически поврежденные и подвергнутые старению и непригодные для переработки материалы из пластических масс, а также непригодные к регенерации эластомеры.

Ключевые слова: железоуглеродистые сплавы, чугун, легирование, модифицирование, термическая обработка, металлосодержащие промышленные отходы, техногенные отходы изделий из высокомолекулярных соединений.

A.I. Harast, E.V. Kryvonosova
Belarusian State Technological University

CASTING MATERIALS FROM THE METAL-CONTAINING AND POLYMER INDUSTRIAL WASTE

Annotation. The results of the development of casting materials from metal-containing industrial waste and semi-processed products of related engineering industries, their baling methods are presented in the paper. Non-traditional metallurgical materials are used as reducing agents, i.e., carbon-containing organic high molecular weight polymer materials (HMWPM) of synthetic origin, including biologically damaged and subjected to seasoning and unsuitable for recycling materials from plastics and elastomers unsuitable for regeneration/

Keywords: iron-carbon alloys, cast iron, alloying, modification, thermal treatment, metal-containing industrial waste, industrial waste products from high molecular weight compounds.

Введение

Анализ существующих процессов получения экономнолегированных сплавов и упрочнения изделий из них показывает [1], что дальнейшее повышение технико-экономических показателей может быть достигнуто только применением нетрадиционных подходов, предусматривающих использование на всех стадиях металлургического передела новых компонентов металлургического сырья, находящегося преимущественно в виде оксидов (окалина, ржавчины, замасленной чугунной стружки, шлифовочных шламов, отходов футеровочных материалов, отработанных катализаторов химической, нефтехимической и промышленности по производству минеральных удобрений, оксидов (титана, циркона и др.), используемых в качестве сырья в стекольной промышленности и т.д.), и в качестве охлаждающих сред при термическом упрочнении отливок водных растворов полимеров (полиакриламидов, полиакрилатов). Эффективное использование металлосодержа-

щих отходов и полупродуктов смежных производств сдерживается из-за: а) низкой реакционной способности традиционных восстановителей (структурно свободного углерода в виде коксовой и графитной пыли, порошкового древесного угля), не обеспечивающих достаточную степень извлечения металлов (при плавке и доводке металла); б) отсутствия технологий переработки стружки с органическим загрязнителем, которые не сопровождались бы дорогостоящими и трудоемкими операциями подготовки и не были бы сопряжены с загрязнением воздушного бассейна; в) низкой технологичности методов охлаждения при термической обработке, не обеспечивающих при этом удовлетворительные санитарно-гигиенические условия. При наличии в Республике Беларусь, обладающей высокоразвитой химической промышленностью, основной массы вышеприведенных материалов и композиций в виде отходов или полупродуктов смежных с машиностроением производств технологические схемы плавки и упрочнения изделий не адаптированы в плане комплексного использования всех существующих ресурсов.

Расширение области применения металлосодержащих промышленных отходов и полупродуктов смежных производств, обеспечивающих: а) прямое легирование, модифицирование и десульфурацию при использовании в качестве восстановителей атомарных углерода и водорода, генерируемых в расплаве при пиролизе техногенных отходов полимерных материалов; б) поверхностное легирование отливок при покрытии поверхностей форм и стержней композициями металлосодержащих отходов – полимерные измельченные добавки, сопровождающиеся химическим взаимодействием вводимых добавок с отдельными элементами кристаллизующегося вещества, в) упрочнение изделий, при использовании экологически безвредных безмасленных охлаждающих сред; приводящее к созданию экономнолегированных литейных сплавов с повышенным уровнем служебных свойств, повышает эффективность работы литейного производства и является актуальной задачей, обеспечивающей снижение себестоимости готовой продукции, т. к. суммарная стоимость оксидов металла и восстановителя всегда ниже стоимости эквивалентного количества металла в ферросплавах.

Новые литейные материалы из металлосодержащих и полимерных техногенных отходов. Разработаны науглероживающие, рафинирующие и модифицирующие добавки из полимерных отходов [2; 3], которые пакетируются (для изоляции от окружающего воздуха и исключения горения при погружении в расплав) по одному из вариантов: 1) в металлическом стакане (рисунок 1а); 2) в виде бетонных блоков. По первому варианту связанные в жгуты полосы из полимерных техногенных отходов (например, автомобильных покрышек) запрессовывались в закрытые метал-

лические емкости из черных сплавов. По второму варианту изоляция полимерных добавок от окружающего воздуха осуществлялась путем изготовления цементных блоков, содержащих кварцевый песок и нарубленные кусочки (фракцией до 10 мм) техногенных полимерных отходов.



а



б

а – запрессованные в металлические емкости науглероживающие, рафинирующие и модифицирующие добавки из полимерных материалов; б – пакеты с оксидом титана, магнезитом и оксидом ванадия (соответственно)
Рисунок 1 – Внешний вид пакетов из металлосодержащих и полимерных промышленных отходов

В обоих вариантах растворение составляющих блоков в расплаве чугуна протекает достаточно медленно (~10 мин.) по мере их прогревания. Стальные стаканы плавятся при реализации созданной технологии.

Пакетированные легирующие и модифицирующие добавки [2; 3], включающие металлосодержащие отходы, связующие и восстановители (взамен структурно свободного углерода, вводимого в виде коксовой и графитной пыли, порошкового древесного угля, не обеспечивающего достаточную степень извлечения металлов, или исключая такую возможность в случае переработки оксидов Ti, Zr, Hf) из непригодных к регенерации изделий из высокомолекулярных соединений (рисунок 1б), в том числе из пластических масс, эластомеров и резинотехнических изделий, содержащих 15-35 мас. % текстильных или металлических армирующих материалов. При пиролизе полимеров в расплаве образуются атомарный водород и углерод, которые обеспечивают эффективное восстановление металлов из отходов.

Шихтовые материалы из замасленной чугунной стружки [4; 5]. Создан метод пакетирования

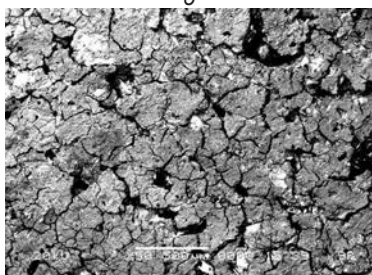
ния замасленной чугушной стружки, в том числе промышленной окалины и шлифовочных отходов, путем химического твердения без применения высоких давлений при одновременном окислении масел и переводе его составляющих в экологически более чистое состояние. В соответствии с разработанной технологией путем ручной трамбовки в металлическую форму пакетированию подвергалась чугунная стружка с массовым содержанием нефтяных масел до 10%.



а



б



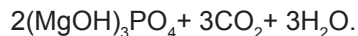
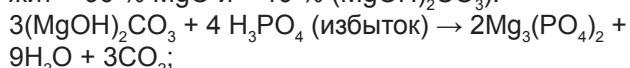
в

а, б – структура сырого пакета; в – структура прокаленного при 700°С пакета
Рисунок 2 – Внешний вид (а) и строение пакетов (б, в) с замасленной чугунной струж

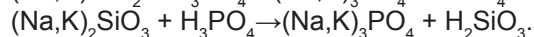
Рецептурный состав пакетов (рисунок 2) для изготовления шихтовых материалов без предварительного удаления смазочных масел и эмульсий: 6,3 кг замасленной чугунной стружки, 1,0 кг молотой глины с добавкой в качестве связующего магнезита, 0,37 кг реагента для химического твердения смеси; подтверждает созданный механизм химического твердения.

Механизм химического твердения включает ряд последовательных операций взаимодействия составляющих пакетов.

Действие H_3PO_4 на магнезит (обычно содержит ~ 90 % MgO и ~ 10 % $(MgOH)_2CO_3$):

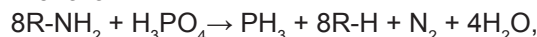


Взаимодействие H_3PO_4 с глиной:



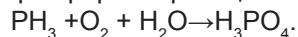
Основную функцию при затвердевании выполняет магнезит. Образуются основные соли типа $(MgOH)_3PO_4$ либо $(MgO)AlO_2 + (MgOH)_2SiO_3$ при совместном смешивании избытка глины (щелочная среда), недостатка магнезита и действия H_3PO_4 (кислая среда).

Присутствие H_3PO_4 способствует не только образованию основных солей Mg , но и взаимодействию присадок промышленных масел, содержащих амины при взаимодействии с фосфорной кислотой:



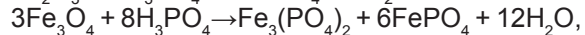
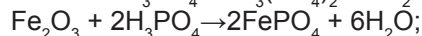
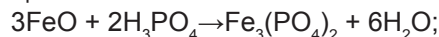
где R – углеводородный остаток (бензил – ненасыщенный, алкил – насыщенный).

При избытке O_2 возможно обратное окисление фосфора по реакции:



Это в свою очередь способствует лучшему окислению масел, поверхность металла (стружки) становится менее гидрофобной, лучше идет процесс адгезии структурных составляющих магнезита и глины к поверхности стружки.

При контакте железа с кислотой возможно не только разрушение рыхлой оксидной пленки по реакциям:



но и образование более плотной фосфатной пленки (фосфатирование), чем исходные оксиды. Это способствует адгезии и прочности образованной структуры.

В металлических составляющих пакетов содержится, соответственно, 61,63% (в сырых пакетах) и 66,39% (в прокаленных при 700°С) железа.

В соответствии с заводскими требованиями пакеты испытывались на прочность путем удара их о металлическую плиту с высоты 1,5 м. Пакеты выдерживали 2-3 удара без разрушения. Результаты проведенных исследований показали, что предложенные методы пакетирования обеспечивают получение качественных пакетов с достаточной механической прочностью.

Легирующие материалы для покрытия форм и стержней [6]. При реализации способа на поверхности форм и стержней, где требуется получение поверхностно легированного слоя в отливке, наносится композиция (рисунок 3), состоящая из оксидов ванадия, фракцией до 0,3 мм, измельченные до фракции 0,5 мм полимерные техногенные отходы и в качестве связующего жидкое стекло. Соотношение оксида ванадия и восстановителя поддерживалось в соотношении 1:1 по объему. Жидкое стекло вводилось в количестве, обеспечивающем эффективное нанесение композиции кистью на поверхность формы или стержня. Толщина слоя легирующей компо-

зиции регулируется числом наносимых слоев, но не должна быть в высушенном состоянии более 0,3-0,5 мм.

При пиролизе полимерных материалов происходит гомолитический разрыв связей с образованием электронейтральных частиц: атомов Н и углеводородных радикалов. Более сильным восстанавливающим действием обладают атомы водорода, так как его электроотрицательность меньше, чем у атомов углерода.



Рисунок 3 – Вид отливки и формы с нанесенным покрытием

Обмазки для металлических каркасов отливок. Новый состав обмазки предусматривает ввод в состав глинистой эмульсии до 50% по объему тонко измельченной полимерной крошки (фракцией до 0,5 мм). В результате пиролиза полимеров при заливке чугуна в форму будут протекать процессы восстановления металлов из глинистой составляющей обмазки и рафинирования металла в области установки каркасов.

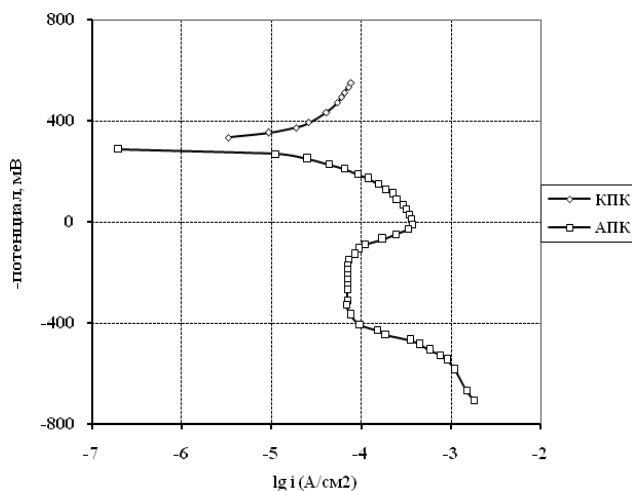
Технологии получения охлаждающих сред из водорастворимых полимеров для термического упрочнения отливок [1; 7; 8]. Создана на основе отечественных водорастворимых полимеров (полиакриламидов, полиакрилатов) не обладающая огнеопасностью и вредным воздействием на организм человека универсальная технологическая среда для термической обработки металлов (патент Республики Беларусь на изобретение № 11233 от 22.07.2008 г.). Данная среда представляет собой водный раствор продукта щелочного гидролиза полиакрилонитрильного полимера с концентрацией 0,3÷3,0 % мас., которая в зависимости от концентрации моделирует условия ох-

лаждения в существующих средах, в том числе масляных. Значение водородного показателя созданной закалочной среды должно соответствовать рН 6-10, что способствует наиболее эффективно растворению высокополимерного соединения в воде и отсутствию расслоения закалочной жидкости при хранении, при этом отсутствует проблема утилизации отходов. Созданная охлаждающая среда не токсична, пожаро- и взрывобезопасна. Класс опасности 4 по ГОСТ 12.1.007. Среда не образует токсичных соединений с другими веществами в воздушной среде и сточных водах. Транспортируют в упакованном виде любым видом транспорта в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на данном виде транспорта. Хранят концентрат охлаждающей среды в сухом помещении при температурах от -10 до +30°C. Срок хранения 12 месяцев с даты изготовления. Стоимость рабочего состава закалочной среды на порядок ниже стоимости охлаждающих сред из минеральных масел, а срок эксплуатации значительно выше.

Изучены физико-химические процессы на границе металл – охлаждающая среда, обеспечивающие получение светлой поверхности изделий. Наиболее достоверные результаты можно получить при изучении коррозионных явлений на межфазных границах (использовали методы погружения, весовой (ГОСТ 6243-75), а также строили поляризационные кривые и диаграммы Эванса).

Проведенные коррозионные испытания (рисунок 4) показывают, что в водно-акриловых охлаждающих средах поверхность стальных изделий подвергается пассивации. Данным явлением объясняется образование тонких (напоминающих воронение) плотно прилегающих к основному металлу пленок, способствующих замедленному охлаждению в области мартенситного превращения. На анодной ПК (рисунок 4) наблюдается участок пассивации в области потенциалов 150-350 мВ при критической плотности тока, равной 70 мкА/см², для легированной стали участок пассивации находится в области потенциалов 100-300 мВ при критической плотности тока, равной 42 мкА/см².

Теплоемкость безмасленной охлаждающей среды, представляющей собой водный раствор продукта щелочного гидролиза (нейтрализованного до рН 6–10) полиакрилонитрила (с содержанием карбоксилатных групп до 50-95%), для термической обработки в 2 раза выше масляной, при этом технологические возможности созданной среды практически постоянны в интервале температур 40-75°C.



КПК – катодная поляризационная кривая,
АПК – анодная поляризационная кривая

Рисунок 4 – Поляризационные кривые стали 45, закаленной в 5%-м водном растворе акриловых полимеров

Заключение

Установлены закономерности формирования пакетированных литейных материалов, включающих металлосодержащие отходы, связующие и восстановители (взамен структурно свободного углерода, вводимого в виде коксовой и графитной пыли), порошкового древесного угля, не обеспечивающего достаточную степень извлечения металлов, или исключающего такую возможность в случае переработки оксидов Ti, Zr, Hf из непригодных к регенерации изделий из высокомолекулярных (углерод находится как в химически связанном, так и в структурно свободном состоянии) соединений, в том числе из пластических масс, не склонных к образованию кокса при термической деструкции (полиолефинов, алифатических полиамидов) или склонных к образованию кокса (полифениленов, полиамидов, полибензимидазолов); из эластомеров (силиконовых, акриловых резин, резин на основе этиленпропиленовых, хлоропреновых, полисульфидных каучуков, бутилкаучуков, полиуретанов), а также резинотехнических изделий, содержащих 15-35 мас. % текстильных или металлических армирующих материалов, что позволило обеспечить технологическую прочность и неразрушаемость пакетов (выдерживают 2-3 удара без разрушения при ударах о металлическую плиту с высоты 1,5 м).

Изучен механизм взаимного влияния компонентов при химическом пакетировании (без предварительного удаления смазочных масел и эмульсий) железосодержащих материалов с органическим загрязнителем, основанный на образовании основных солей типа $(\text{MgOH})_3\text{PO}_4$ либо $(\text{MgOHAlO}_2 + (\text{MgOH})_2\text{SiO}_3$ при совместном смешивании избыточных количеств глины (щелочная среда), недостатке магнезита в кислой среде, обеспечивающий содержание железа, соответственно, 61,63% в сырых и 66,39% в прокаленных при 700°C металлических составляющих пакетов.

Разработан состав покрытий, содержащих

высокополимерные соединения, поверхностей форм и стержней для прямого поверхностного легирования и модифицирования металлическими элементами (ванадием) отливок из железоуглеродистых сплавов путем восстановления металлов атомарным водородом и углеродом из специальных.

Создан метод рафинирования и дегазации расплава чугуна в местах установки покрытых глинистой эмульсией металлических каркасов литейных форм, наиболее опасных с точки зрения возможности образования газовых раковин и рыхлот за счет восстановления кремнезема и других оксидных составляющих глины продуктами пиролиза (атомарными водородом и углеродом) полимеров, вводимых в состав обмазки.

Список литературы

- 1 Гарост А. И. Железоуглеродистые сплавы: структурообразование и свойства. Минск : Беларус. навука, 2010. 252 с.
- 2 Способ выплавки чугуна и способ выплавки стали: пат. 11641 Респ. Беларусь : МПК(2006) С 21 С 100, С 21 С 500, F 23 G 5027. заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (BY) – № а20050280; заявл. 24.03.2005; опубл. 28.02.2009 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці. 009. № 2.
- 3 Harast A. I. Modification and Microalloying of Iron Carbon Alloys Using Industrial Polymer Scrapes // Journal of Current Advances in Materials Sciences Research (CAMSR). – 2014. Vol. 1, Issue 3. PP. 66-74. URL: www.vkingpub.com/journal/camsr/© American V-King Scientific Publishing.
- 4 Способ выплавки чугуна: пат. 14183 Респ. Беларусь : МПК(2009) С 21 С 100 / А. И. Гарост; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (BY) – № а20091272; заявл. 31.08.2009; опубл. 30.04.2011 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. Цэнтр інтэлект. уласнасці. 2011. № 4.
- 5 Harast A. I. Chemical Baling of Oily Cast Iron Turnings and Use of Bales to Substitute Expensive and Scarce Scrapes // International Journal of Materials Science and Applications. 2013. Vol. 2, No. 6. PP. 194-203. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130206.15.
- 6 Ласковнёв А. П., Гарост А. И., Покровский А. И. Многофункциональные (износостойкие и антифрикционные) покрытия на изделиях из чугуна // Литье и металлургия. 2015. № 2. С. 89-94.
- 7 Способ термической обработки изделий из черных металлов: пат. 11233 Респ. Беларусь: МПК С 21 D 1/56 / А. И. Гарост, Е. П. Шишаков, А. К. Корнейчик; заявители: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; Производственно-торговое частное унитарное предприятие «Акута-ИФ» (BY) – № а20070625; заявл. 24.05.2007; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці. 2008. № 10.
- 8 Гарост А. И. Экономия материальных и энергетических ресурсов при термической обработке // Литье и металлургия. 2009. № 1. С. 160-168.

А.М. Гениатулин
 Курганский государственный университет

SWOT-АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В данной работе описаны основные направления использования эксплуатационных возможностей режущей керамики при обработке материалов аэрокосмической отрасли.

Ключевые слова: режущая керамика, направления использования, эксплуатационные возможности.

A.M. Geniatulin
 Kurgan State University

SWOT-ANALYSIS OF THE USE OF CUTTING CERAMICS FOR MATERIALS PROCESSING IN AEROSPACE INDUSTRY

Annotation. The work describes basic directions of operating capacity usage of cutting ceramics for materials processing in aerospace industry

Keywords: cutting ceramics, directions of usage, operating capacity.

Развитие современной машиностроения, особенно аэрокосмической отрасли, связано с расширением объемов и номенклатуры труднообрабатываемых материалов (высокотвердых легированных, жаропрочных сталей, чугунов и других сплавов), при резании которых в зоне контакта с инструментом возникают высокие температуры (свыше 800°C). Это приводит к постоянному совершенствованию режущей керамики, обладающей высокой теплостойкостью.

Применение режущей керамики давно стало привычным явлением. Развитие здесь идет в направлении расширения областей применения. Традиционно керамика применялась для обра-

ботки чугунов и закаленных сталей в благоприятных условиях. Современная керамика позволяет обрабатывать твердые материалы в неблагоприятных условиях (например, при прерывистом резании), существенно повысить эффективность обработки материалов аэрокосмической отрасли.

В среднем по миру доля керамического инструмента в общей массе режущего инструмента составляет не более 5%. Однако в аэрокосмической отрасли и вообще в сфере высших технологий доля керамического инструмента составляет 60%.

Для изготовления режущего инструмента широко применяется керамика на основе оксида алюминия с добавками диоксида циркония, карбидов и нитридов титана, а также на основе бескислородных соединений – нитрида бора с кубической решеткой ф-BN, обычно называемого кубическим нитридом бора, и нитрида кремния Si₃N₄ (рисунок 1).

По составу режущую керамику подразделяют на:

- оксидную – на основе Al₂O₃ (99%) с добавками оксидов магния и циркония (белая); на основе окиси хрома (бихромит P);
- оксидокарбидную Al₂O₃ (60–80%) с оксидами и карбидами тугоплавких металлов (черная);
- оксидонитридную Al₂O₃ и TiN (кортинит);
- нитридную на основе нитрида кремния Si₃N₄;
- на основе оксида алюминия Al₂O₃ и нитрида кремния Si₃N₄ (сиалон);
- армированную на основе оксида алюминия Al₂O₃ и нитевидных кристаллов SiC.

Сегодня в мире режущую керамику (РК) выпускают более 20 крупных фирм, таких как «Sandvik Coromant» (Швеция), «Krupp Widia» (Германия), «Kennametal» (США), NTK (Япония) и др. В таблице 1 приведена сравнительная таблица марок режущей керамики, выпускаемой передовыми разработчиками и производителями керамических материалов.

Сравнительные значения физических свойств основных марок режущей керамики сведены в таблице 2.

Анализ свойств режущей керамики, описанных в работах [1; 2; 3; 4], позволяет выявить сильные стороны и возможности использования режущей керамики при обработке материалов аэрокосмической отрасли (таблица 3), а также определить слабые стороны и возможные угрозы при использовании инструментальной керамики (таблица 4).



Рисунок 1 – Классификация режущей керамики по стандарту DIN ISO 513

Таблица 1 – Сравнительная таблица марок режущей керамики

| Код применения | Iscar | Kennametal | Sandvik Coromant | Sumitomo | Куссера | Tungaloy | NTK | Taequ Tec | SSanqyoung |
|----------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|--|
| P01 | | KO60 KO90 | | NB90S NB 100C | A66N KT66 | LX11 LX21 | HC1 HC4 ZC4 HC7 ZC7 | | |
| P10 | | | | WX120 | | | WA1 | | |
| M10 | | KY1540 KY1525 | | WX120 | | | | | |
| K01 | IN11 | KY1615 KY1310 | CC620 CC650 | NB90S NB90M | KA30 | LX11 LX21 | HC1 HW2 HC2 HC6 HC7 | AW20 | SZ200 SD200 |
| K10 | IN23 | KY1320 KY3500 KY2100 KY4300 | CC690 CC6090 GC1690 | NS260C NS260 WX120 | A65 A66N KT66 | | WA1 SX1 SX5 SP2 SX9 | AW30 | ST100 |
| K20 | IS8 IS80 | | CC6190 | NS260C NS260 | KS500 KS6000 | FX105 CX710 | SX8 SP2 SX1 SX6 SX9 | AS10 AS500 SC10 | SN26 SN300 SN300 SN500 SN800 |
| S01 | IS16 | KYS30 | CC6060 CC6065 | | | | | | SN700 |
| S10 | | KY4300 KY1540 | CC670 CC6080 | WX120 | | | WA1 | AS20 | |
| H01 | IN22 | KYS25 KYS40 | GC6050 CC650 CC670 | NB 100C | A65 A65N KT66 | LX11 | HC4 HC7 ZC4 ZC7 | AB2010 AB20 | ST300 |
| H10 | | KY1615 KY4300 | | | A65 A65N KT66 | | JX1 JP2 | | |

Таблица 2 – Сравнительные значения физических свойств основных марок режущей керамики

| Марки керамики | Состав | Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$, ГПа не менее | Плотность ρ , г/см ³ | HRA, Hv не менее |
|------------------|---|--|--------------------------------------|------------------|
| Оксидная | ЦМ332 | Al ₂ O ₃ – 99% MgO – 1% | 3,85-3,90 | 91 |
| | ВО-13 | Al ₂ O ₃ – 99% | 3,92-3,95 | 92 |
| | ВШ-75 | Al ₂ O ₃ | 3,98 | 91-92 |
| | HC1 | Al ₂ O ₃ > 99% | 3,98 | 94,5 |
| | CC650 | Al ₂ O ₃ | 3,97 | 93 |
| Оксидо-карбидная | В-3 | Al ₂ O ₃ + TiC | 4,2 | 94 |
| | ВОК-63 | Al ₂ O ₃ + TiC | 4,2-4,6 | 94 |
| | ВОК-71 | Al ₂ O ₃ + TiC | 4,5-4,6 | 94 |
| | HC2 | Al ₂ O ₃ + TiC | 4,3 | 94,5 |
| | HC4 | Al ₂ O ₃ + TiC | 4,6 | 95 |
| | HC7 | Al ₂ O ₃ + TiC | 4,6 | 95 |
| | ST100 | Al ₂ O ₃ + TiCN | 4,2 | Hv 2.1 |
| | ST300 | Al ₂ O ₃ + TiCN | 4,4 | Hv 2.15 |
| | ST500 | Al ₂ O ₃ + TiCN | 4,3 | Hv 2.2 |
| | SZ200 | Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ | 4,0 | Hv 1.8 |
| SZ300 | Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ | 4,1 | Hv 1.85 | |

| | | | | | |
|------------------|--------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| Оксидо-нитридная | ОНТ-20 Кортинит | $Al_2O_3 > 60\%$ TiN – 30% | 0,64 | 4,3 | 90-92 |
| | AS500 Сиалон | $Al_2O_3 + Si_3N_4$ | 0.55 | 3.2 | 93.9 |
| Нитридная | PK-30 силинит-Р | Si_3N_4, Y_2O_3, TiC | 0,7-0,8 | 3,2-3,4 | 94 |
| | ТВИН-200 | Si_3N_4 | 0.75 | 3.45 | 93.5 |
| | SN300 | Si_3N_4 | 0.6 | 3.2 | Hv 1.6 |
| | SN400 | Si_3N_4 | 0.7 | 3.2 | Hv 1.65 |
| | SN500 | Si_3N_4 | 0.8 | 3.2 | Hv 1.70 |
| | SN800 | Si_3N_4 | 0.9 | 3.2 | Hv 1.85 |
| | SX1 | Si_3N_4 | 1.2 | 3.2 | 93.5 |
| | SX8 | Si_3N_4 | 1.2 | 3.2 | 93 |
| AS10 | Si_3N_4 | 0.6 | 3.2 | 93.7 | |
| Армированная | ТВИН-400 | $Al_2O_3 + SiC$ | 0,85 | 3,7–3,8 | 94 |
| | Wiskerit | $Al_2O_3 + ZrO_2$ нитевидные SiC | 1,0 | 5,91 | Hv 1,8 |
| | WA1 | $Al_2O_3 + SiC$ | 0.7 | 3,7 | 94,5 |
| Хромистая | Бихромит Р | $Cr_2O_3 + Cr_3C_2 + AlN$ | 0,6-0,8 | 5,6 | 92-94 |

Таблица 3 – Сильные стороны и возможности использования режущей керамики при обработке материалов аэрокосмической отрасли

| Сильные стороны режущей керамики | Влияние показателя | Возможности использования режущей керамики | Влияние показателя |
|---|--------------------|--|---|
| Высокая твердость (HRA 91–93) | 19% | Возможность применения высоких скоростей резания, намного превосходящих скорости резания инструментом из твердого сплава (до 900–1000 м/мин) | 40% |
| Высокая теплостойкость (T=1100–1200°C) | 18% | | Возможность обработки закаленных сталей |
| Высокая износостойкость | 15% | Возможность замены шлифования | |
| Химическая пассивность по отношению к обрабатываемым материалам | 12% | | |
| Низкие адгезионные свойства | 10% | | |
| Отсутствие наростообразования | 10% | | |
| Отсутствие связующей фазы | 9% | | |
| Доступность сырья, используемого при их производстве | 7% | | |

Таблица 4 – Слабые стороны и возможные угрозы при использовании инструментальной керамики

| Слабые стороны режущей керамики | Влияние показателя | Возможные угрозы при использовании режущей керамики | Влияние показателя |
|--|--------------------|--|--------------------|
| Хрупкость, невысокая ударная вязкость | 30% | Непрогнозируемое хрупкое разрушение и выкрашивание режущей части под действием сил резания | 40% |
| Низкая изгибная прочность | 25% | | |
| Чувствительность по отношению к переменным механическим нагрузкам и вибрациям | 20% | Возникновение трещин из-за вибраций системы СПИД | 25% |
| Высокая чувствительность к резким температурным колебаниям (тепловым ударам) из-за высокого коэффициента температурного расширения | 15% | Возникновение трещин из-за тепловых ударов | 20% |
| Низкая трещиностойкость | 10% | Потеря точности и шероховатости обрабатываемой поверхности | 15% |

Совершенствование возможностей режущей керамики, устранение слабых сторон и возможных угроз при её использовании ведется в следующих основных направлениях:

- 1 Увеличение прочности.
- 2 Повышение эксплуатационных характеристик.
- 3 Совершенствование технологий прессования.
- 4 Применение технологии реакционного синтеза.
- 5 Производство нанокompозитов, получение слоистых композиций.
- 6 Соблюдение требований к станку, приспособлениям, вспомогательным инструментам, режущему инструменту, технологии программирования.

1 Увеличение прочности

Для увеличения прочности режущей керамики ведутся работы в следующих направлениях:

- совершенствование составов керамики;
- использование специальных технологий создания микротрещин;
- физико-химический способ повышения надежности керамики.

Совершенствование состава оксидокарбидной и оксиднитридной керамики заключается в том, что помимо оксида алюминия в него входят карбиды или нитриды тугоплавких компонентов. Эффект от их введения связан с подавлением процесса рекристаллизации при спекании. В результате этого величина зерна снижается примерно в 2 раза, что приводит к повышению прочности (до 600-650 МПа). Прочность нитридной керамики еще выше – до 750 МПа.

Создание композиционного материала происходит также путем введения в керамику волокон из более прочного керамического материала, например карбида кремния SiC. Развивающаяся трещина на своем пути встречает волокно и дальше не распространяется. Сопротивление разрушению стеклокерамики с волокнами SiC возрастает до 1800-2000 МПа, существенно приближаясь к соответствующим значениям для металлов.

Степень повышения прочности и твердости армированной (вискеризованной) режущей керамики определяется большим числом факторов. Наибольшее влияние оказывают объемная доля, размеры (отношение длины к диаметру) и свойства нитевидных частиц. Поэтому получение заданных свойств на границе раздела «Al₂O₃ - SiC» в условиях невысокой стабильности свойств нитевидных частиц при температурах спекания затруднительно.

Сфера применения армированной керамики: черновая и чистовая обточка и фрезерование серого чугуна; токарная обработка жаростойких сплавов; высокоскоростное точение стали; токарная обработка отбеленного чугуна.

Второй способ состоит в том, что с помощью специальных технологий весь керамический материал пронизывают микротрещинами. При встрече основной трещины с микротрещиной угол в острие трещины возрастает, происходит затупление трещины, и она дальше не распространяется.

Физико-химический способ повышения надежности керамики реализован для одного из наиболее перспективных керамических материалов на основе нитрида кремния Si₃N₄. Способ основан на образовании определенного стехиометрического состава твердых растворов оксидов металлов в нитриде кремния, получивших название силинит.

Нитридная режущая керамика на основе Si₃N₄ благодаря наличию в своей структуре столбчатых включений обладает высокими значениями прочности, вязкости разрушения, теплопроводности. Такой уровень свойств позволяет использовать эту керамику для чернового, получистового, чистового точения и фрезерования чугунов и сплавов на основе никеля, кобальта. Необходимо также отметить, что нитридная керамика практически единственный вид режущей керамики (РК), который благодаря высокой термостойкости способен работать в условиях применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Однако повышенная химическая активность к сплавам на основе железа ограничивает применение этого вида РК.

Примером высокопрочной керамики являются сиалоны состава Si_{6-x}Al_xN_{s-x}O_x где x – число замещенных атомов кремния, азота в нитриде кремния, составляющее от 0 до 4,2. Важным свойством сиалоновой керамики является стойкость к окислению при высоких температурах, значительно более высокая, чем у нитрида кремния.

В состав этих веществ входят четыре элемента: Si, Al, O, N (отсюда и название – сиалон), а также ряд других элементов, внедряющихся в кристаллическую решетку сиалонов. Сиалоны – оксиднитридные фазы, структура которых построена из тетраэдров (Si, Al) (O, N), сочлененных в трехмерный каркас. Некоторые сиалоновые фазы характеризуются прекрасными механическими свойствами и устойчивостью в условиях действия химических агрессивных сред при высоких температурах. Спекание сиалонов осуществляется более просто, чем спекание нитрида кремния.

Дальнейшее повышение стойкости инструментальной керамики на сиалоновой основе может быть достигнуто путем введения дисперсно-упрочняющих фаз, повышающих энергию разрушения. Наилучшие прочностные характеристики в сочетании с увеличенной стойкостью показывают материалы, содержащие 10% об. TiC, TiN или TaN.

Керамика на основе оксида хрома может рассматриваться как представитель нового поколения керамических материалов прежде всего для режущих инструментов высокопроизводительного резания со значительно улучшенными скоростными характеристиками. Новый материал, разработанный в Институте сверхтвердых материалов НАН Украины, получил торговую марку бихромит-Р. В состав исходной шихты входит до 15% об. упрочняющих фаз-наполнителей в виде карбида хрома (Cr₃C₂) и нитрида алюминия (AlN) [5].

2 Повышение эксплуатационных характеристик

Для повышения ее эксплуатационных характеристик в промышленности используют различные способы нанесения износостойких покрытий [6; 7]. В настоящее время модификация поверхностных свойств сменных многогранных пластин (СМП) из режущей керамики для оснащения лезвийных инструментов путем газофазового и вакуумно-плазменного нанесения покрытий является одним из наиболее эффективных способов повышения различных свойств РК. Покрытия различного состава, структуры и свойств, нанесенные на рабочие поверхности керамических СМП, позволяют направленно управлять контактными процессами, тепловым состоянием режущего инструмента, интенсивностью его изнашивания.

Для указанных целей используют несколько методов нанесения покрытий. Одним из них является метод, основанный на получении покрытий при высокотемпературных гетерогенных химических реакциях в парогазовой среде, получивших наименование «химическое осаждение покрытий» (ХОП), или *chemical vapor deposition* (CVD). Так как процессы ХОП (CVD) реализуются при температурах порядка 1050-1100°С и совершаются при большей продолжительности по времени (до 5-8 часов). В данном случае высока вероятность формирования переходной зоны между покрытием и керамическим субстратом, приводящей к снижению прочности субстрата.

Другим методом нанесения покрытий на керамический инструмент является технология на основе физического осаждения покрытий (ФОП), или *physical vapor deposition* (PVD). Достаточно большое разнообразие методов ФОП (PVD) связано с различием способов испарения тугоплавких металлов IV-VI групп Периодической системы элементов непосредственно в вакуумных установках, которые обычно используют в качестве основы химических соединений покрытий. Процессы ФОП (PVD) формируются при возможности варьирования температуры процесса в широком диапазоне (200–800 °С), что практически блокирует формирование разупрочняющей переходной зоны в системе «РК-покрытие», и в то же время высокоэнергетические потоки плазмы способны оказать значительное залечивающее воздействие на поверхностные дефекты (микропоры, трещины, искажение решетки и т.д.).

В мировой практике производства инструмента из режущей керамики получили применение две разновидности процессов ФОП – магнетронно-ионное осаждение (МИО) и вакуумно-дуговое осаждение (ВДО), получившее наименование КИБ.

3 Совершенствование технологий прессования

Эффект снижения образования трещин дает горячее изостатическое прессование (ГИП) высокоплотной режущей керамики. ГИП позволяет

получать СРП практически любой формы с однородной и мелкозернистой структурой, с высокой (почти 100%) плотностью и с минимальными припусками на окончательное шлифование. Хотя стоимость пластин, изготовленных методом ГИП, в 1,3 раза выше, чем стоимость пластин, спеченных обычным способом, СРП, полученные ГИП, эффективны в массовом производстве.

Отказы режущих пластин из нитридной керамики, полученной методом ГИП, в основном происходят вследствие изнашивания без сколов и выкрашиваний. Это позволяет практически точно прогнозировать период работы инструмента до достижения отказа по установленному критерию износа, что крайне важно в условиях автоматизированного производства.

Керамические режущие СРП, полученные методом ГИП из смеси на основе карбида титана TiC, обеспечивают высокий уровень надежности при обработке ковкого чугуна на скорости резания более 400 м/мин. Сфера применения: полустовое и чистовое точение ковкого чугуна, а также высокоскоростное точение серого чугуна с использованием смазочно-охлаждающих технологий (СОТС).

4 Применение технологии реакционного синтеза

Другим перспективным направлением получения новых керамических режущих материалов в условиях уменьшения сырьевых ресурсов земли и связанной с этим катастрофическим ухудшением экологии из-за эффективного развития промышленности является разработка ресурсосберегающих технологий с применением методов реакционного синтеза [7]. Разработка ресурсосберегающих технологий основана на использовании реакционных смесей типа MeO + Al (Ti, Mg и др.) + C, где Me – тугоплавкий металл. Среди данных методов выделяют реакционное спекание, реакционное горячее прессование, метод СВС-компактирования.

Основным преимуществом данных методов является возможность совмещения процесса синтеза составляющих фаз и формирования материала в целом. Характер взаимодействия веществ в реакционной смеси обеспечивает высокую прочность межфазовых границ и мелкозернистость структуры.

5 Производство нанокompозитов, получение слоистых композиций

Разработка нанокompозитов (с размером зерна 200 нм) из порошков (с размером 100 нм) позволяет повысить эксплуатационные характеристики РК-материалов в несколько раз по сравнению с классическими [8]. Кроме того, использование нанопорошков позволит расширить номенклатуру тугоплавких соединений, используемых при изготовлении режущей керамики. Применение нанопорошков позволяет снизить температуру и время синтеза композитов на их основе. Однако склонность к агломерации, низкая прессуемость и связанная с этим большая усадка в процессе

спекания, а также высокая рекристаллизационная способность приводят к формированию неоднородной структуры таких композитов и нестабильности их свойств.

Важным направлением в области изготовления современной режущей керамики является создание градиентных структур. Градиентная керамика представляет собой многослойную режущую пластину, состоящую, например, из чередующихся слоев керамики на основе Al_2O_3 или Si_3N_4 и слоев твердого сплава. Толщина каждого слоя (их количество обычно варьируется от двух до семи) составляет 0,1-3 мм. Такой инструментальный материал обладает всеми преимуществами режущей керамики, но при этом имеет более высокие прочностные характеристики и теплопроводность.

Композиты типа керамика – твердый сплав состоят из двух слоев: рабочего керамического слоя толщиной 1-2 мм и твердосплавной подложки. Для сплава ВОК 85-С подложкой служат стандартные сплавы WC-Co, а для композита ВОК 95-С используют безвольфрамовые твердые сплавы.

Создание слоистых композиционных материалов преследует следующие цели: сохранение износостойкости и химической инертности режущей части, свойственной керамике; повышение механической прочности режущей пластины в целом; увеличение отвода тепла в корпус державки за счет большей теплопроводности твердого сплава; увеличение сопротивления режущей части пластины разрушению; повышение надежности работы композиционного режущего материала по сравнению с «чистой» керамикой.

6 Соблюдение требований к станку, приспособлениям, вспомогательным инструментам, режущему инструменту, технологии программирования

Необходимо отметить, что эффективное применение инструмента из различных типов РК возможно только при использовании станочного оборудования повышенной жесткости, качественных и жестких державок для крепления СМП и повышенной жесткости технологической системы станок, приспособление, инструмент, деталь (СПИД) [7].

Требования к станкам:

- жесткая станина;
- возможность обеспечить высокую скорость резания;
- высокая жесткость шпинделя;
- современные системы ЧПУ.

Требования к зажимным приспособлениям и вспомогательным инструментам:

- крепление инструмента на станке должно соответствовать особенностям обработки режущей керамикой, обеспечивая достаточную жесткость и надежность;
- зажимные приспособления должны подбираться с учётом особенностей обработки режущей керамикой;

- патроны и оправки должны быть сбалансированы;
- рекомендуется использовать охлаждение сжатым воздухом.

Особенности программирования станков:

- правильное врезание инструмента в заготовку и распределение припуска по проходкам;
- правильная траектория захода и выхода инструмента;
- прогрессивные методы программирования (врезание по дуге, проходы с переменной глубиной резания);
- доступность CAD/CAM системы.

Фрезы:

- надёжное крепление пластин в корпусе фрезы;
- жёсткие корпуса фрез;
- шлифованные хвостовики;
- точные посадочные места под пластины;
- подача СОЖ или сжатого воздуха через корпус фрез.
- подготовка режущей кромки

Производители металлорежущего инструмента увеличивают прочность керамических пластин, соответствующим образом подготавливая режущую кромку. Как правило, используют один из двух способов подготовки режущей кромки: защитная фаска (ширина 0,15-0,2 мм, угол наклона $8^\circ-30^\circ$) или защитный радиус (0,05-0,15 мм). Добавление фаски с отрицательным передним углом перенаправляет силы резания так, что пластина работает на сжатие, а не на изгиб. Иногда применяется сочетание защитной фаски и защитного радиуса для тяжелых условий обработки. Применение защитного радиуса рекомендуется при лункообразовании на поверхности пластины.

Выводы

1 Проведенный анализ позволяет утверждать, что если в ближайшем будущем режущая керамика станет надежной и дешевой и будут созданы новые теории прочности керамики, то доля её использования в аэрокосмической отрасли возрастет, значительно превысив показатель на сегодняшний день – на уровне 60%.

2 Анализ тенденций развития керамического режущего инструмента свидетельствует о больших перспективах этого инструмента в ближайшем будущем, причем увеличение общего объема выпуска керамического инструмента взаимосвязано с совершенствованием технологии производства, оптимизацией состава традиционных марок керамики, широким применением армированной керамики, многослойных покрытий и расширением области применения инструмента на основе нитрида кремния.

Список литературы

- 1 Осипова И. И., Шведков Е. Л. Режущая керамика // Порошковая металлургия. 1992. № 9. С. 31-45.
- 2 Гнесин Г. Г., Осипова И. И., Ронталь Г. Д. и др.

Керамические инструментальные материалы / под ред. Г. Г. Гнесина. Киев : Техника, 1991. 338 с.

3 Сотова Е. С., Верещака А. А., Верещака А. С.

Керамические режущие инструменты. М. : Изд-во ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2013. 149 с.

4 Кузин В. В. Инструменты с керамическими режущими пластинами. М. : Янус-К, 2006. 160 с.

5 Геворкян Э. С., Романчук С. А. Структура, физико-механические и режущие свойства материала бихромит-Р // Сверхтвердые и композиционные материалы и покрытия, их применение : сб. науч. тр. АН УССР / Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля / отв. ред. П. С. Кислый. Киев : ИСМ, 1991. С. 33-35.

6 Волосова М. А. Технологические принципы нанесения износостойких вакуумно-плазменных покрытий на режущий инструмент из керамики : справочник // Инженерный журнал. 2005. № 8. С. 46-47.

7 Крапостин А. А. Обеспечение надежности резцов, оснащенных керамикой на основе повышения динамических характеристик резания и применения наноструктурированных многослойных покрытий : дис. ... канд. техн. наук. М. : ФГБОУ ВПО «СТАНКИН», 2015. 174 с.

8 Гениатулин А. М. Анализ состояния и перспектив развития режущей керамики // Вестник Курганского государственного университета. Серия «Технические науки». 2011. Вып. 6. С. 56-58.

УДК 621.7.043

А.И. Сергеев, А.И. Сердюк
Оренбургский государственный
университет

А.В. Щеголев, М.В. Иванюк, А.В. Кузьмин
АО «Механический завод», Орск

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПУАНСОНА НА ТОЛЩИНУ СТЕНКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. Описан вычислительный эксперимент для определения влияния скорости движения пуансона на толщину стенки при изготовлении баллонов высокого давления. Приведена схема определения толщины стенки баллона на основе результатов компьютерного моделирования. Выполнена оценка влияния скорости перемещения пуансона на толщину стенки баллона в различных сечениях.

Ключевые слова: глубокая вытяжка, скорость движения пуансона, баллон высокого давления, толщина стенки баллона.

A.I. Sergeev, A.I. Serdjuk
Orenburg State University
A.V. Schegolev, M.V. Ivanyuk A.V. Kuzmin
JSC «Mechanical Plant», Orsk

THE INFLUENCE OF PLUNGER'S ACTION SPEED TO THE WALL THICKNESS IN HIGH-PRESSURE TANK MAKING

Annotation. The article describes a computational experiment of determination of the influence of plunger's action speed to the making. We present the scheme of determination of high-pressure tank wall thickness based on computer modeling. We made the evaluation of the influence of plunger's traversing speed on the high-pressure tank wall thickness in different sections.

Keywords: deep drawing, plunger speed, high-pressure tank, high-pressure tank wall thickness.

При производстве цельноштампованных изделий, которыми являются стальные баллоны для хранения и транспортировки газов и других продуктов, широкое распространение получил способ изготовления методом глубокой вытяжки с утонением. Вытяжка – это процесс превращения плоской или полую заготовки в открытую с одной стороны полу деталь замкнутого контура.

По сравнению с обычной вытяжкой без принудительного утонения стенок вытяжка с утонением стенок имеет следующие преимущества:

- не требует применения сложных штампов;
- производится на прессах простого действия, в то время как обыкновенная вытяжка глубоких полых деталей без принудительного утонения стенок ведется обычно на прессах двойного действия;
- при правильно выбранной степени деформации число вытяжных операций для изготовления полых деталей меньше;
- качество металла в результате вытяжки с утонением улучшается за счет того, что при нескольких вытяжках с утонением, чередующихся с отжигом, структура металла делается более мелкозернистой (исключение составляет зона дна, где наблюдается рост зерна).

Одной из проблем при выполнении вытяжных операций является автоматизация технической подготовки производства, включающая проектирование вытяжного инструмента и разработку технологических режимов по известным методикам с применением уточняющих коэффициентов. Однако зачастую разработанная документация требует глубокой доработки после выполнения серии опытных испытаний, что приводит к увеличению сроков запуска в производство нового изделия и к затратам предприятия на изготовление пробных образцов вытяжного инструмента. Для решения данной проблемы используется компьютерное моделирование. Так, в работе [1] при помощи компьютерного моделирования в программе DEFORM 2D/3D выявлены наиболее нагруженные поверхности пуансона, напряжения на которых подтверждены экспериментально.

В представленной работе описан вычислительный эксперимент в программе DEFORM 3D для определения влияния скорости движения пуансона на толщину стенки при изготовлении баллонов высокого давления объемом 4,3 литра.

Для моделирования операции свертки в пре-

процессор программы импортированы геометрические модели пуансона, матрицы и прижима. Так как толщина заготовки небольшая, то свертка без прижима приводит к возникновению дефекта типа «гофра». Использование прижима позволяет за одну операцию выполнить свертку кружка в заготовку типа «стакан». Схема расположения инструмента и заготовки представлена на рисунке 1.

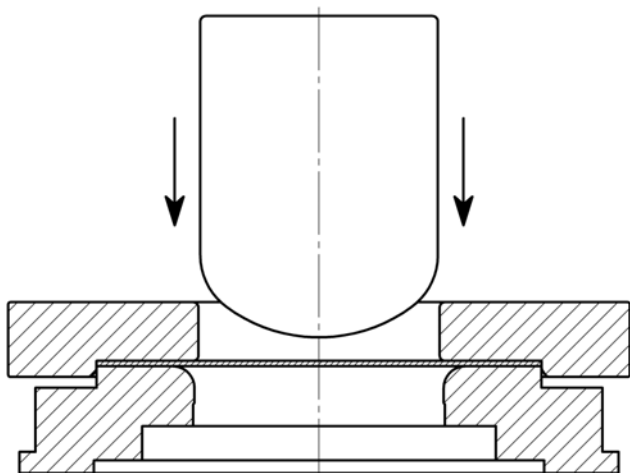


Рисунок 1 – Схема расположения инструмента и заготовки для операции свертки

Предложенная системой по умолчанию конечно-элементная сетка из 32000 элементов для повышения точности расчетов была заменена на сетку из 60000 элементов. Это позволило получить элементы, минимальная длина ребра которых составила порядка 5 мм, а максимальная – около 10 мм. После позиционирования объектов заданы их взаимосвязи, определяющие взаимодействие объектов между собой. Если взаимосвязи не заданы или заданы неверно, то система может, например, проигнорировать наличие прижима. При указании пар взаимодействующих объектов были выбраны: Пуансон – Заготовка, коэффициент трения по Зибелю 0,12; Матрица – Заготовка, коэффициент трения 0,06; Прижим – Заготовка, коэффициент трения 0,06. Различные коэффициенты трения объясняются тем, что в производстве для снижения трения применяется фосфатирование особо нагруженных поверхностей с последующим нанесением мыльной эмульсии. При выборе коэффициентов трения использованы результаты экспериментов, представленные в работе [2].

В качестве заготовки использован кружок из стали 3 толщиной 5,5 мм. Установленные значения механических свойств [3] были занесены в DEFORM 3D при помощи табличного способа. Так как процесс выдавливания происходит без нагрева, то механические свойства заданы для одной температуры, равной 20 °С.

Для определения скорости движения пуансона, при которой достигаются наиболее адекватные результаты моделирования, проведена серия экспериментов из 20 циклов. Шаг изменения скорости варьировался в зависимости от величины, малые значения скорости исследовались на пред-

мет оценки адекватности работы программы, при более высоких скоростях исследовалось влияние значения скорости на процесс моделирования.

После каждого цикла моделирования оценивалась форма полученной заготовки по следующим критериям: а) толщина стенки в пяти горизонтальных сечениях, мм; б) толщина стенки в четырех вертикальных сечениях, мм; в) толщина дна, мм; г) толщина боковой стенки на расстоянии 150 мм от основания (требование проектной документации), мм.

Измерение толщины стенки в горизонтальных сечениях необходимо для оценки величины утонения (рисунок 2).

Так как геометрия заготовки получена из конечно-элементной модели, то в различных точках поверхности толщина стенки будет различаться. Поэтому предложено осуществлять замеры в вертикальных сечениях по плоскостям 0°, 45°, 90°, 135°. Схема расположения сечений для оценки толщины стенки заготовки приведена на рисунке 3.

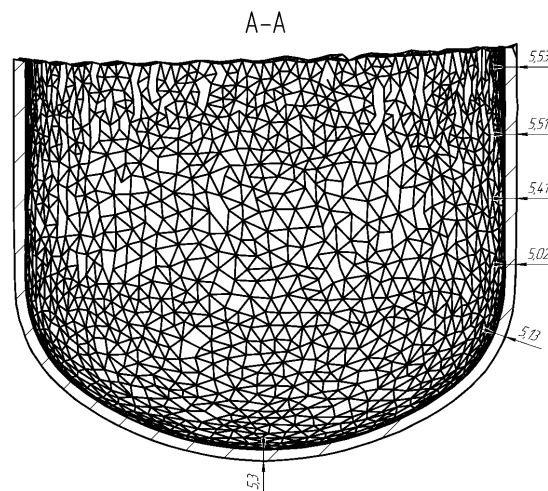


Рисунок 2 – Замеры в горизонтальных сечениях

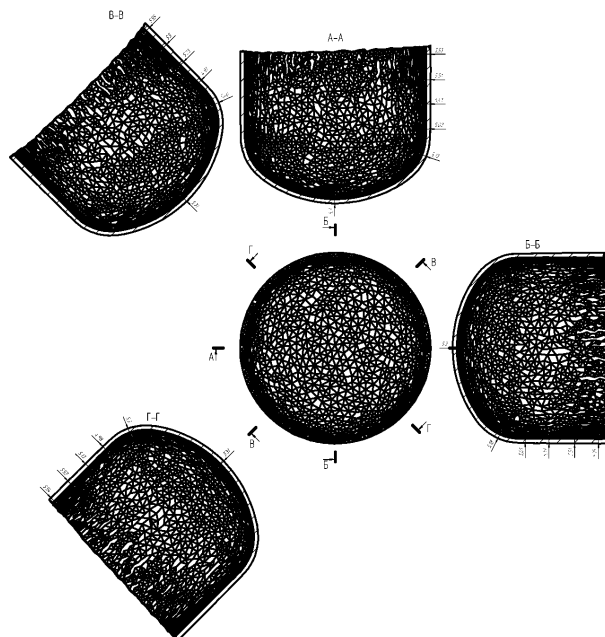


Рисунок 3 – Схема расположения сечений

Помимо оценки толщины стенки баллона для каждого цикла моделирования фиксировались максимальные значения показателя разрушения; эффективной степени деформации, мм/мм; действительной скорости деформации, (мм/мм)/с; действительных напряжений, МПа; максимального действительного напряжения, МПа; полной скорости течения металла, мм/с. Экранные формы с результатами представлены на рисунке 4, каждое отдельное изображение соответствует шагу моделирования, при котором достигнуто максимальное значение показателя.

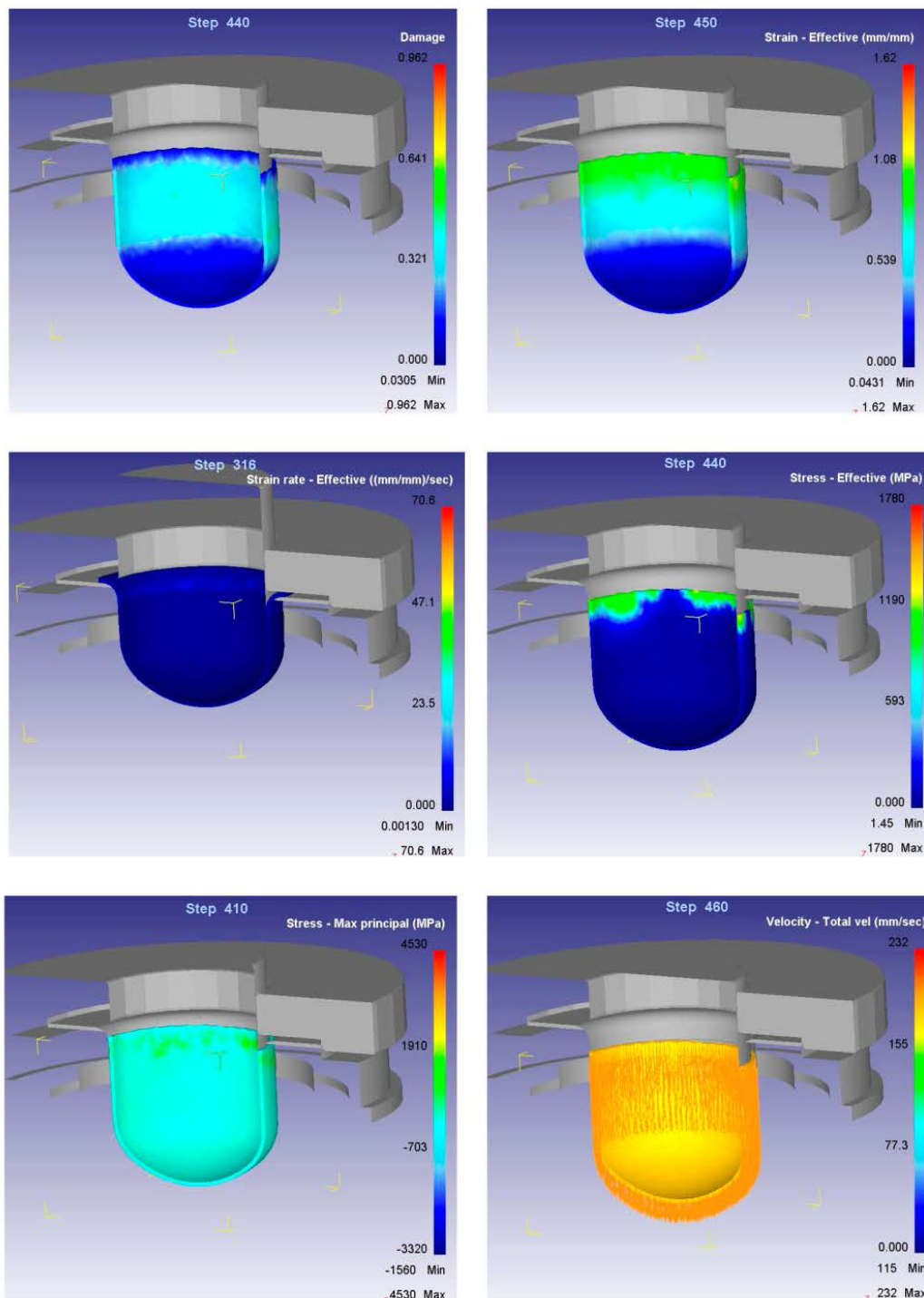


Рисунок 4 – Экранные формы с результатами моделирования

После проведения экспериментов усредненные результаты были сведены в электронные таблицы для построения зависимостей. На рисунке 5 представлен график, демонстрирующий зависимость средней толщины стенки полученной заготовки от скорости движения пуансона. Из графика видно, что средняя толщина уже после 1 мм/с не опускается ниже 5 мм.



Рисунок 5 – Зависимость средней толщины стенки от скорости движения пуансона

Однако по графику изменения разнотолщинности (рисунок 6) видно, что скорость движения пуансона оказывает более существенное влияние, чем может показаться на первый взгляд.



Рисунок 6 – Зависимость разнотолщинности от скорости движения пуансона

Из графика следует, что с увеличением скорости толщина стенки становится более равномерной, что также подтверждается результатами исследований, представленными в работе [4].

Максимальная и минимальная толщина стенки изменяются в соответствии с зависимостями, представленными на рисунке 7.



Рисунок 7 – Изменение максимальной и минимальной толщины стенки

Если проанализировать зависимость толщины дна заготовки (рисунок 8), то можно отметить, что после 150 мм/с средняя толщина дна уменьшается с 5,3 мм до 4,7 мм на 0,6 мм.



Рисунок 8 – Средняя толщина дна заготовки после операции свертки

По технологическому процессу обязательно контролю подвергается размер толщины стенки заготовки после свертки на высоте 150 мм от основания, который должен составлять $5,5_{-0,6}$ мм. При получении средней толщины стенки в горизонтальных сечениях одно из них выполнялось на данной высоте – «Сечение 2» (на рисунке 2 размер, равный 5,51 мм). График изменения толщины стенки по сечениям приведен на рисунке 9. Результаты по сечению 2 выделены более широкой линией, по ним видно, что толщина на контролируемой высоте находится в пределах допуска на большинстве скоростей движения пуансона. Это объясняется тем, что основное утонение происходит в момент вытягивания заготовок из-под прижима на начальных шагах операции и находится около радиуса скругления, задающего геометрию донной части. Этой области соответствует сечение 4, результаты замеров в котором (рисунок 9) подтверждают высказанное ранее предположение.

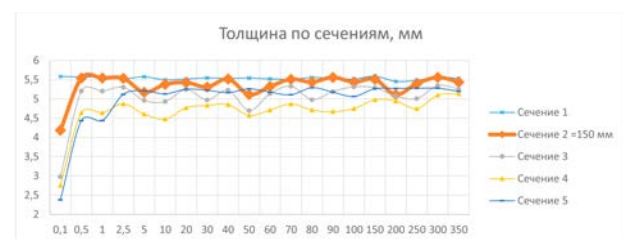


Рисунок 9 – Замеры толщины стенки по сечениям

В работе [4] приводятся примерные значения скоростей вытяжки для различных материалов, для стали автор рекомендует значение 300 мм/с, но по результатам вычислительных экспериментов видно, что на данной скорости толщина дна заготовки составляет 5 мм. Таким образом, проанализировав результаты проведенных вычислительных экспериментов, предложено использовать скорость пуансона равную 150 мм/с. Анализ результатов моделирования, пример которых представлен на рисунке 3, также подтверждает правильность предложенного решения. Таким образом, с одной стороны, применение компьютерного моделирования позволяет автоматизировать этап доработки результатов расчета параметров технологического процесса глубокой вытяжки, что позволит сократить время на запуск в производство новой продукции, с другой – моделирование является инструментом оценки адекватности работы автоматизированных систем проектирования инструментов и заготовок для операций глубокой вытяжки [5].

Список литературы

- 1 Дмитриев А. М., Коробова Н. В., Толмачев Н. С. Экспериментальная проверка результатов компьютерного моделирования напряжений на элементе деформирующего инструмента // Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 2 (29). С. 44-49.
- 2 Крагельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения : справочное пособие. М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1962. 220 с.

3 Лысов В. А., Сердюк А. И., Шевченко О. В. и др. *Графоаналитическое моделирование динамики механических свойств металлов в технологических процессах изготовления глубокой вытяжкой // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 4. С. 46-53.*
4 Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке, 6-е изд. Л. : Машиностроение, 1979. 520 с.*
5 Щеголев А. В., Овечкин М. В. *Автоматизация расчетов кружка для операции глубокой вытяжки // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL. www.science-education.ru/120-15632 (дата обращения : 09.02.2015).*

УДК 669.018.29.004.14(075.8)

Н.З. Султанов, В.С. Уханов, А.В. Уханов
Оренбургский государственный университет

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме – обеспечению надежности изделий авиационной техники. Рассмотрены причины, вызывающие отказы объектов, и методы обеспечения условных форм надежности: функциональной, параметрической, прочностной. Показано, что контроль качества – важнейшее средство обеспечения надежности. Значения показателей надежности формируются на основе оптимизации параметров, определяющих свойства изделия применительно к условиям эксплуатации.

Ключевые слова: система, отказ, разрушение, усталость, изделие, состояние, ресурс, испытание, надежность.

N.Z. Sultanov, V.S. Ukhanov, A.V. Ukhanov
Orenburg State University, Orenburg, Russia

ANALYSIS OF METHODS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF RELIABILITY OF AVIATION TECHNOLOGY PRODUCTS

Annotation. The article is devoted to the actual problem of ensuring reliability of aviation equipment products. The reasons causing rejections of objects and methods of maintenance of conditional forms of reliability: functional, parametric, structural ones are considered. It is shown that quality control is the most important means of ensuring reliability. The values of reliability indicators are formed on the basis of optimizing the parameters determining the properties of the product in relation to operating conditions.

Keywords: system, rejection, destruction, fatigue, product, condition, resource, test, reliability.

Надёжность является одной из важнейших характеристик, учитываемых на этапах разработки, проектирования и эксплуатации технических систем. Обеспечение надёжности систем охватывает разные аспекты человеческой деятельности. С развитием и усложнением техники углубилась и развилась проблема её надёжности. Изучение причин, вызывающих отказы объектов, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка метода проверки надёжности изделий и способов контроля надёжности, методов расчётов и испытаний, изыскание путей и средств повышения надёжности являются предметом исследований.

Обеспечение надежности изделий в производстве требует комплексного подхода к изучению и разработке технологических процессов и выбора управляющих воздействий. Этот комплексный подход предусматривается системой технологической подготовки производства. Она регламентируется стандартами ЕСТПП (Единой системой технологической подготовки производства). В технологическую систему входят оборудование и оснастка, заготовки, готовая деталь и изделие, средства контроля или испытаний, оператор и контролер, конструкторская и технологическая документация и т.д. Так же, как и надежность изделия, надежность технологической системы характеризуется безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью [1].

Технологические методы обеспечения надежности изделия определяются прежде всего надежностью самой технологической системы. При этом чем сложнее изделие, тем сложнее система и тем труднее обеспечить ее надежность. Авиационный двигатель относится к категории сложных изделий, чем и определяется особенность технологической системы. Технологические методы обеспечения надежности двигателей имеют целью достижение показателей и параметров, заданных конструкторами при проектировании деталей, узлов и двигателя в сборе. Опыт совершенствования технологических процессов производства и ремонта двигателей выявил ряд решений, реализация которых позволяет поднять надежность ряда узлов и деталей.

Существует два метода обеспечения надёжности:

- 1 Метод физического обеспечения.
- 2 Метод схемного обеспечения.

Метод физического обеспечения надежности базируется на изучении физических явлений и причин отказов в зависимости от нагрузок механических и физико-химических свойств материала деталей и от изменения этих параметров во времени. Сущность метода заключается в том, что все элементы изучаемого объекта составляют единую функциональную последовательность

и при отказе одного из элементов работоспособность всего изделия нарушается.

Иногда столь высокий уровень надежности (0,97) каждого из элементов может быть либо недостижим, либо на это требуются огромные средства. В этом случае прибегают ко второму методу схемного обеспечения надежности, суть которого следующая: в конструкцию изделия вводят несколько параллельно действующих одинаковых элементов, надежность каждого из которых не очень велика.

Многие детали при работе в двигателе испытывают усталостное напряжение, неприятность которого заключается в опасности внезапного разрушения детали. Закономерности усталостного разрушения носят статистический характер, когда под действие одного и того же циклического напряжения число циклов до разрушения отличается на однотипных деталях в несколько раз. Наиболее характерно это явление на лопатках турбины. Поэтому достоверные прогнозы надежности в этом случае можно сделать лишь на основе вероятностного подхода.

Сущность научных методов заключается в обосновании выбора рациональных конструктивных схем, обеспечивающих наиболее полное выполнение заданных функций в расчётных условиях эксплуатации при различных внешних воздействиях и возможных отказах отдельных узлов и подсистем. Расчётно-аналитические методы основаны на применении теории вероятностей и статистической информации об отказах элементов, агрегатов и узлов, полученной в ходе эксплуатации. При анализе рассматриваются работоспособное состояние изделия и состояние отказа, а само изделие представляется состоящим из последовательных и параллельных соединений элементов и узлов. Надёжность отдельных узлов и изделия в целом рассчитывается с применением структурных, логических или схемно-функциональных методов. Последний метод позволяет учитывать изменяющуюся схемную структуру изделия применительно к меняющимся режимам и условиям полёта летательного аппарата. Комплекс выполняемых работ даёт возможность получить данные по прогнозированию ожидаемого уровня надёжности [2].

В число применяемых способов обеспечения требуемых уровней надёжности изделий входят следующие. На стадии проектирования — использование новых материалов с улучшенными физико-химическими характеристиками и новых элементов повышенной надёжности; разработка принципиально новых схемных решений, включая резервирование; выбор оптимальных рабочих режимов и условий работы; разработка эффективного производственного и эксплуатационного контроля, обеспечивающего диагностику и прогнозирование технического состояния изделий. На стадии производства — использование прогрессивной технологии; применение эффектив-

ных методов контроля; проведение специальных испытаний на надёжность основных систем и изделия в сборе. На стадии эксплуатации — обеспечение и контроль заданных условий и режимов работы; проведение профилактических работ; эксплуатационный контроль работоспособности; анализ и устранение причин выявляемых отказов.

Надёжность авиационных конструкций — способность конструкций сохранять заданную прочность при выполнении своих функций в процессе отработки назначенного ресурса. Под безотказностью конструкции понимается отсутствие разрушений её элементов и (или) конструкции в целом из-за недостатка прочности (несущей способности) или устойчивости при возникновении экстремальных условий нагружения; отсутствие повреждений от действия многократно повторяющихся переменных нагрузок или температурных напряжений; отсутствие чрезмерных упругих деформаций несущих поверхностей от действия аэродинамических нагрузок и т.п. Безотказность авиационной конструкции тесно связана с безопасностью, гарантирующей практическую вероятность катастрофических ситуаций. Требования безопасности авиационной конструкции отражаются в государственных документах. Долговечность авиационной конструкции характеризуется её техническим ресурсом, который определяется наработкой — продолжительностью работы авиационной конструкции (число лётных часов, полётов и др.) и сроком службы, выражаемым календарным временем эксплуатации. Срок службы парка летательных аппаратов может быть увеличен путём рационального использования индивидуального ресурса каждого экземпляра. Эксплуатационная сохраняемость конструкции — способность её сохранять работоспособность в промежутках между периодами эксплуатации (например, когда летательный аппарат находится на стоянке, в ангаре). Для обеспечения сохраняемости конструкции (от действия окружающей среды и т.п.) в это время важное значение имеет коррозионная стойкость материалов и их антикоррозийная защита. Особенность надёжного авиационного двигателя заключается в необходимости получения оптимальных удельных характеристик по тяге, массе и расходу топлива в широком диапазоне изменения внешних условий при безотказной работе всех его систем в течение назначенного ресурса. Работоспособность и совершенство функциональных характеристик двигателя зависят от надёжности обеспечивающих систем (топливной, охлаждения, смазки), систем управления, регулирования и контроля. Уровень надёжности двигателя зависит от прочности основных силовых частей, определяемой запасами прочности и значениями тепловых, газодинамических, вибрационных и других воздействий. Уровень надёжности двигателя оценивается его наработкой на отказ, а также значениями назначенного и межремонтных ресурсов. Оценка уровней надёжности выполня-

ется также в ходе специальных стендовых ресурсных и лётных испытаний на летающих лабораториях надёжность двигателя во многом определяет его стоимость и эффективность эксплуатации [3].

Массовое производство деталей двигателя требует точных и производительных методов контроля. Современная измерительная аппаратура достигла высокого совершенства и, как правило, встраивается в линию механической обработки. Задача современного контроля – не отбраковка негодных изделий, а предупреждение брака. С этой целью широко используются статистические методы контроля. Применяемые в этом случае приборы имеют решающее и печатающее устройства, дающие готовые данные о контролируемых размерах и их статистических параметрах – средней величине, среднем квадратичном отклонении, а также о запасе по допуску. Контроль качества – важнейшее средство обеспечения надёжности. Несмотря на наличие совершенной метрологической техники, необходима высокая квалификация контрольного персонала. Оценка качества готовых двигателей, как правило, производится органолептическими методами – осмотром и прослушиванием, что не исключает в ряде случаев субъективных ошибок.

Важнейшими показателями качества газотурбинных двигателей (ГТД), которые обеспечиваются в производстве, являются показатели назначения, надёжности и безопасности. В характере оценки этих показателей имеются существенные различия. Показатели назначения: тяга и удельный расход топлива в различных условиях полета – могут определяться в процессе стендовых испытаний двигателя непосредственно на предприятии. Надёжность ГТД является временной характеристикой. Основные показатели надёжности, которые обеспечиваются в производстве, – ресурс и наработка на отказ – проявляются и, соответственно, могут быть непосредственно оценены вне производственного процесса – в условиях эксплуатации. Поскольку надёжность – это свойство двигателя сохранять работоспособное состояние или, иными словами, стабильно обеспечивать заданные показатели назначения, то решение проблемы надёжности в условиях производства обеспечивает качество ГТД в целом.

В условиях производства можно судить только о потенциальной надёжности ГТД. При этом основным источником информации о надёжности двигателя являются данные о качестве его деталей и сборочных единиц. В этой связи выделяются два уровня в понятии качества продукции в производстве. Более высокий уровень – качество двигателя в целом. Другой уровень – качество деталей и сборочных единиц на различных стадиях их изготовления.

Оценка качества такой продукции осуществляется в процессе производства на основе соответствия ее параметров и характеристик и параметров режимов обработки требованиям кон-

структорской (КД), технологической (ТД) и нормативно-технической документации (НТД), а также на основе вида и уровня технологической наследственности от сопутствующих технологическому процессу явлений. К сопутствующим явлениям технологического процесса относятся такие явления, как образование остаточных напряжений в поверхностном слое при механической обработке на размер, образование микротрещин, образование усадочных раковин в процессе перехода из жидкого состояния в твердое при отливке деталей, обезуглероживание в поверхностном слое при термообработке в воздушной среде, наводораживание деталей и др. [4].

Параметры продукции размеры, твердость, шероховатость поверхности, остаточные напряжения, а также режимы обработки – температура и продолжительность термообработки, усилие при монтаже, остаточный дисбаланс и другие – должны находиться в поле технического допуска на них. Также должно быть исключено негативное влияние сопутствующих явлений на качество продукции. Удовлетворение указанным требованиям является необходимым условием обеспечения заданной геометрии, определенных уровней усталостной и длительной прочности деталей, их коррозионной и эрозионной стойкости, износостойкости, вибрационных напряжений. Все эти свойства определяют качество деталей, сборочных единиц и двигателя в целом.

Геометрические параметры (размеры элементов конструкции и проходных сечений, шероховатость поверхности) определяют характеристики газоздушного тракта и элементов топливной системы, а в целом показатели назначения двигателя. Размеры элементов и их физико-химические свойства, характеризующие прочность и стойкость деталей, их взаимное расположение определяют ресурс и безотказность двигателя.

Таким образом, условие производственного обеспечения качества ГТД – изготовление продукции в строгом соответствии с требованиями КД, ТД, НТД.

Из общего числа выявленных недостатков по конструктивным и производственным причинам недостатки по последним составляют внушительную величину – до 40%.

Производственные недостатки обусловлены, как правило, двумя основными группами причин: недостатками технологии и нарушением технологической дисциплины. На современных предприятиях обязательно наличие технологических лабораторий, ведущих разработку и проверку новых технологических процессов механической обработки, металлопокрытий, сварки, литья и т.д. Необходимы также исследовательские лаборатории двигателей. Автоматизированная система управления технологическим процессом и применение ЭВМ позволяет оптимизировать технологические маршруты, режимы резания, выбор оборудования, приспособлений и инструмента,

технические нормы времени, расход материалов и т. п. [5].

Таким образом, из результатов рассмотрения возможных последствий отказов в зависимости от их характера развития и проявления различают следующие условные формы надежности:

- функциональную, когда изделие не способно выполнять заданные функции;
- параметрическую, когда выполняемые функции не удовлетворяют требованиям высокой точности, экономичности и эффективности;
- прочностную, когда происходят повреждение и поломки и не обеспечивается необходимая долговечность.

Характеристики изменения отказов многих авиационных изделий по времени их эксплуатации имеют сложные зависимости. Статистические данные показывают, что многим изделиям свойственны три типичных периода их эксплуатации, которые характеризуются различным уровнем интенсивности отказов и разными закономерностями их проявления:

- 1) приработка (начальный период эксплуатации),
- 2) период нормальной эксплуатации,
- 3) период износа и старения.

Под износом в данном случае понимается не только физический износ, но и накопление любых необратимых повреждений.

Причиной повышенного уровня отказов в начале эксплуатации является главным образом недостаточное совершенство методов контроля, приводящее к тому, что изделия со скрытыми дефектами выходят из строя вскоре после начала работы. Основное средство снижения интенсивности отказов в этот период эксплуатации — совершенствование контроля выпускаемых изделий и повышение эффективности заводских испытаний готовой продукции. Период приработки обычно непродолжителен и часто полностью перекрывается периодом обкаточных или приработочных испытаний. В этот период работы изделия нельзя повысить надежность путем замены каких-то элементов, так как причины отказов при нормальной эксплуатации связаны главным образом с внезапным воздействием неучтенных при проектировании изделия факторов, с попаданием изделия в такие эксплуатационные ситуации, последствия которых не были достаточно хорошо предусмотрены и проверены.

Технологические процессы должны отвечать ряду требований, в том числе по производительности, себестоимости и др. Приоритетным требованием является обеспечение качества двигателя. В этой связи при разработке новых ТП необходимо руководствоваться в первую очередь двумя принципами: повышением качества продукции и обеспечением высокой стабильности процесса [6].

Развитие технологических процессов и оборудования идет, с одной стороны, в направлении создания благоприятных условий обработки дета-

лей и сборочных единиц как средства повышения их качества (обработка в условиях вакуума – литье, термообработка, покрытия, электронно-лучевая сварка; обработка давлением в состоянии сверхпластичности материала; многоинструментальная обработка, исключая деформацию детали и другие), с другой – в направлении непосредственного улучшения функциональных свойств деталей и сборочных единиц (химико-термическая обработка, модификация поверхности, электрофизические и электрохимические способы обработки, технология обработки прогрессивных конструкционных материалов и др).

Автоматизированная система управления технологическим процессом и применение ЭВМ позволяет оптимизировать технологические маршруты, режимы резания, выбор оборудования, приспособлений и инструмента, технические нормы времени, расход материалов и т. п.

В результате проведенного анализа установлено, что качество и надежность авиационного двигателя, численные значения его показателей формируются на основе оптимизации параметров, определяющих свойства изделия применительно к предполагаемым условиям применения. Они закладываются в процессе обоснования схемных, конструктивных и технологических решений при проектировании, отработке макетного образца и доводке опытных образцов, при отладке технологии, обеспечиваются в производстве в ходе технологических процессов обработки, сборки, технического контроля и испытаний.

Список литературы

- 1 *Технология производства авиационных газотурбинных двигателей : учебн. пособие для вузов / Ю. С. Елисеев, А. Г. Бойцов, В. В. Крымов, Л. А. Хворостухин. М. : Машиностроение, 2003. 512 с., ил.*
- 2 *Крымов В. В., Елисеев Ю. С., Зудин К. И. Производство газотурбинных двигателей / под ред. В. В. Крымова. М. : Машиностроение – Полет, 2002. 376 с., ил.*
- 3 *Елисеев Ю. С., Крымов В. В., Малиновский К. А. и др. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей : учебное пособие. М. : Высш. шк., 2002. 355 с., ил.*
- 4 *Елисеев Ю. С., Крымов В. В., Митрофанов АА. и др. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей : учебное пособие / под ред. Б. П. Саушкина. М. : Дрофа, 2002. 656 с.; ил., 16 с цв. вкл.*
- 5 *Моисеев Ю. А., Челышев С. В. Технологическая надежность сложного изделия и ее отработка / под ред. Ю. С. Соломонова. М. : Едиториал УРСС, 2003. 176 с.*
- 6 *Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. М. : Машиностроение, 2002. 684 с.*

Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова
Оренбургский государственный
университет

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ КАК ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НЕЖЁСТКИХ ВАЛОВ

Аннотация. В статье рассмотрено применение разработанного алгоритмического, информационного и программного обеспечения подсистемы АСТПП нежестких валов, позволяющей реализовать на практике метод автоматической коррекции управляющей программы станка с целью минимизации погрешности токарной обработки. Основные этапы её использования представлены в виде диаграммы деятельности.

Ключевые слова: нежесткий вал, управляющая программа, техническая подготовка производства, диаграмма деятельности.

E.S. Shelikhov, A.M. Chernousova
Orenburg State University

AUTOMATIC CORRECTION SYSTEM OF THE CONTROL PROGRAM AS THE SUBSYSTEM OF NON-RIGID SHAFT AUTOMATIC SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION

Annotation. The article deals with the application of the developed algorithmic and information software of the subsystem of non-rigid shaft automated control system for technical preparation of production allowing implementing in practice the automatic correction method of the machine control program in order to minimize the imprecision of turning. The main stages of its use are presented in the form of activity diagram.

Keywords: non-rigid shaft, control program, technical preparation of production, activity diagram.

К нежестким валам относятся детали типа тел вращения, длина которых более чем в 12 раз превышает их диаметр. Они применяются в установках практически каждой промышленной

отрасли, при этом чаще всего являются неотъемлемой частью их исполнительных механизмов, что определяет высокие требования к точности их изготовления. Особенностью токарной обработки заготовок при производстве нежестких валов являются упругие деформации, возникающие под действием силы резания, зависящие от жёсткости технологической системы и значительно влияющие на отклонение реальных размеров от заданных чертежом. Некоторые пути достижения заданной точности обрабатываемых на станках деталей приведены в работе [1]. Переход машиностроения на более современное оборудование, а именно на станки с ЧПУ, затруднил традиционное применение люнетов, что привело к использованию на производстве заниженных режимов резания, введению дополнительной операции шлифования. А эти меры значительно повышают себестоимость нежестких валов.

В работе предлагается применение метода коррекции управляющей программы (УП). В этом случае оценка значений отклонения формы заготовки от заданной чертежом по всей длине обрабатываемой поверхности осуществляется с учетом характеристик оборудования, инструмента, свойств материала, технологических требований и другой информации. Прогнозируемая погрешность компенсируется за счёт изменения траектории резания путем корректировки управляющей программы станка с ЧПУ на этапе технологической подготовки.

Полученные результаты проведенных научных исследований позволили разработать алгоритмическое, информационное и программное обеспечение системы автоматической коррекции управляющей программы станка с ЧПУ как подсистемы в составе автоматизированной системы управления технической подготовкой производства (АСТПП) нежестких валов.

Рассмотрим полученные решения более подробно.

Техническая подготовка производства (ТПП) – это комплекс нормативно-технических мероприятий, регламентирующих конструкторскую, технологическую подготовку производства и систему постановки продукции на производство [2]. Основным назначением ТПП принято считать подготовку производства новой или модернизированной продукции, а также перспективное развитие предприятия в целом.

Повышение эффективности технологической подготовки производства возможно при использовании соответствующих автоматизированных систем. Взаимодействие этих систем осуществляется путем обмена информацией. Представим в виде диаграммы деятельности (рисунок 1) выполняемые работы при автоматизации технологической подготовки производства нежестких валов с учётом возможностей разработанной подсистемы АСТПП.

Диаграмма деятельности – это визуализированный поток переходов от одной деятель-

ности к другой. При этом под деятельностью понимается неатомарный, автоматический шаг вычислений, приводящий к выполнению действия [3]. Используем диаграммы с дорожками, которые позволяют изображать процессы в контексте их выполнения различными подразделениями и службами предприятия, функционирования различных автоматизированных систем. Разделим действия на диаграмме на группы, отделяющиеся друг от друга вертикальными линиями. Две соседние линии и образуют дорожку, а действия между этими линиями соответствуют отдельным стадиям работ.

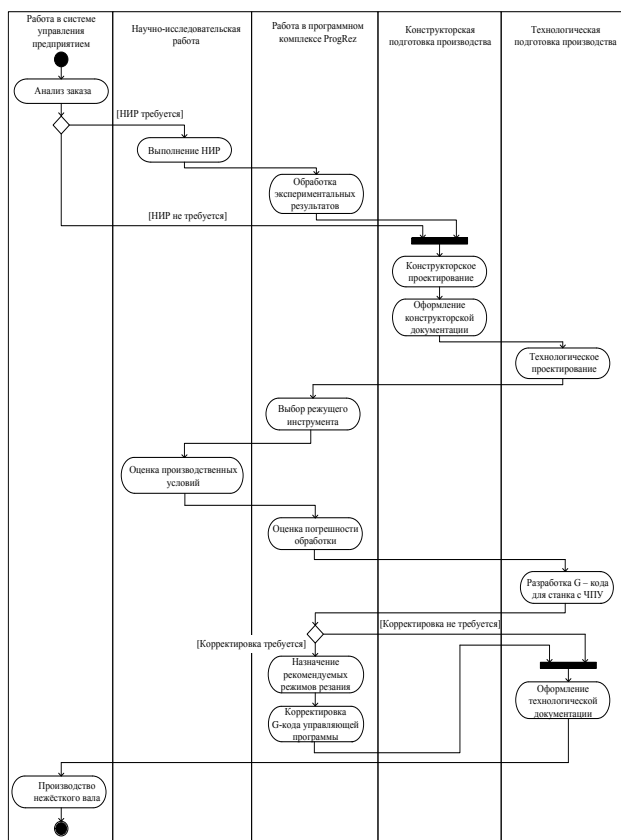


Рисунок 1 – Диаграмма деятельности, показывающая основные этапы применения разработанной подсистемы

На начальном этапе, выполняемом в автоматизированной системе управления предприятием, осуществляется анализ заказа и принимаются решения о необходимости проведения научно-исследовательских работ и их составе. В соответствии с заявленными заказчиком условиями эксплуатации, требованиями к стоимости и основным характеристикам изделия формируются данные для технической подготовки производства.

В результате проведенных исследований по выявлению закономерностей и аппроксимации функций влияния входных данных на показатели обработки получено информационное обеспечение подсистемы АСТПП, её архитектура и алгоритмы реализации процедур автоматической коррекции управляющей программы, которые легли в основу создания специализированного программного комплекса ProgRez. Практическая

реализация метода минимизации погрешности токарной обработки нежестких валов базируется на разработанной методике прогнозирования значений упругих деформаций и автоматизированной коррекции G-кода управляющей программы для станка с ЧПУ. Эффективность внедрения полученных результатов исследования подтверждена экспериментально.

Разработанный программный комплекс ProgRez включает функциональные модули двух программ CalkRez и OptimRez, позволяющие на этапе технической подготовки производства прогнозировать и корректировать упругие деформации [4; 5]. В программном комплексе ProgRez для обработки экспериментальных результатов используется соответствующий функциональный модуль.

На этапе конструкторской подготовки производства осуществляется проектирование и оформление соответствующей документации, разрабатываются 2D и 3D модели изделия с учётом результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, формируется конструкторская документация. Возможно применение уже имеющихся на предприятии чертежей подобных деталей с внесением определённых поправок для адаптации готовых проектных решений к требованиям заказчика [6].

Под технологической подготовкой производства в соответствии с ГОСТ 14004-83 понимается совокупность мероприятий на предприятии, необходимых для осуществления заданного объёма выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями и обеспечивающих наличие полных комплектов документации и средств технологического оснащения. Технологическое проектирование включает разработку процессов основной обработки, программ для станков с ЧПУ; составление технологических маршрутов; разработку нормативов трудоёмкости и норм расхода материалов, режимов работы оборудования; анализ технологии производства и применение возможных вариантов её изменения с целью снижения затрат и т.д. При помощи разработанного программного комплекса ProgRez на данном этапе подготовки производства осуществляется выбор режущего инструмента.

Далее проводятся научно-исследовательские работы по анализу реальных условий обработки или определению коэффициента ψ , используемого в предложенном математическом аппарате для расчёта упругих деформаций нежестких валов Δu .

Оценка погрешности обработки осуществляется за счёт сравнения допуска на обрабатываемые поверхности заготовки и рассчитанного значения. Затем разрабатывается G-код управляющей программы (УП) для станка с ЧПУ и принимается решение о применении метода автоматической коррекции. При помощи разработанного программного обеспечения назначаются режимы резания и автоматически корректируется текст УП.

Технологическая подготовка производства завершается оформлением соответствующей документации (маршрутной карты, G-кода и т.д.), которая передается в систему управления предприятием для производства изделия.

Таким образом, применение разработанной подсистемы АСТПП нежестких валов позволяет на базе известных математических моделей с учетом изменения силы резания и других динамических параметров технологической системы увеличить качество изделий и технологичность производства без дополнительных расходов.

Список литературы

- 1 Балакшин Б. С., Базров Б. М., Баранчукова И. М. и др. *Адаптивное управление станками: монография*. М.: Машиностроение, 1973. 688 с.
- 2 Лазарева Т. Я., Мартемьянов Ю. Ф., Схиртладзе А. Г. *Интегрированные системы проектирования и управления. Структура и состав: учебное пособие*. М.: Изд-во Машиностроение-1, 2006. 172 с.
- 3 Ромбо Дж., Буч Г., Джекобсон А. *Язык UML. Руководство пользователя*. URL: <http://dit.isuct.ru/ivt/books/CASE> (дата обращения 09.03.17).
- 4 Свидетельство № 2014660861 Российская Федерация. Программа для расчёта погрешности обработки нежестких заготовок под действием силы резания *CalkRez*: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Е. С. Шелихов, А. М. Черноусова; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет». № 2014618445; заявл. от 21.08.14; зарегистр. 17.10.2014. 1 с.
- 5 Свидетельство № 2015617303 Российская Федерация. Программа минимизации погрешности токарной обработки нежестких валов *OptimRez*: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Е. С. Шелихов, А. М. Черноусова, А. И. Сердюк; заявитель и правообладатель Е. С. Шелихов, А. М. Черноусова, А. И. Сердюк. № 2015614252; заявл. от 12.05.15; зарегистр. 6.07.2015. 1 с.
- 6 Шелихов Е. С., Черноусова А. М. *Автоматизация технологической подготовки производства нежестких валов // Научно-технический вестник Поволжья*. 2015. №4. С. 148-150.

УДК 621. 922.025

В.К. Коротовских
Курганский государственный университет

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗАТОЧКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ НА ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ

Аннотация. В статье рассмотрен вывод формулы для определения производительности заточки твердосплавного инструмента алмазными кругами на органических связках с полыми сферическими частицами. Приведена зависимость для расчета продольной подачи с учетом заполняемости межзернового пространства рабочей поверхности и параметров структуры пористых кругов.

Ключевые слова: режимы заточки, алмазный круг, твердосплавный инструмент, продольная и

поперечная подачи, скорость вращения круга.

V.K. Korotovskikh
Kurgan State University, Kurgan

EFFICIENCY OF HARD-FACE TOOL GRINDING WITH DIAMOND CIRCLES ON ORGANIC BONDS

Annotation. The derivation of the formula for determining the efficiency of grinding a hard-face tool with diamond circles on organic bonds with hollow spherical particles is discussed in the article. The dependence for the calculation of the longitudinal feed, taking into account the fillability of the intergranular space of the working surface and the parameters of porous circles structure is presented.

Keywords: grinding regimes, diamond circle, hard-face tool, longitudinal and traverse feed, circle rotation speed.

Проведенный анализ [1] показал, что для заточки твердосплавного инструмента наиболее эффективными являются мелкозернистые (при $d_3 = 125/100$ и ниже) алмазные круги на органических связках. Однако снижение зернистости приводит к уменьшению активной части межзернового пространства режущей поверхности кругов, а значит и производительности. Увеличить производительность и активную часть межзернового пространства мелкозернистых кругов рациональнее всего с помощью введения в состав кругов пористости. В качестве пористой структурной составляющей было предложено использовать полые сферические частицы (ПСЧ).

Производительность резания Q при торцевом шлифовании, реализуемом при заточке твердосплавного инструмента, определяется режимами резания:

$$Q = S_{np} S_n B, \quad [\text{мм}^3/\text{мин}] \quad (1)$$

где S_{np} – продольная подача, мм/мин; S_n – поперечная подача, мм/дв.ход; B – ширина обрабатываемой пластины, мм.

Величина поперечной подачи S_n задается в зависимости от зернистости алмазов d_3 и принимается обычно для кругов на органических связках равной $1/3 - 1/4$ размера зерна. Для кругов с ПСЧ она достигает половины размера зерна

$$S_n = d_3/2. \quad (2)$$

Остается учесть влияние на производительность продольной подачи. Для этого установим взаимосвязь продольной подачи с характеристиками кругов из условия оптимальной заполняемости стружкой межзернового пространства их рабочей поверхности. Расчет активной площади поперечного сечения межзернового пространства алмазных кругов на органических связках приведен в работах [1; 2]. В кругах с ПСЧ

$$F_{\text{акт}} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{\text{псч}}}{2} + \Delta_{\text{ср}} \right)^2 \quad (3)$$

Здесь $d_{\text{псч}}$ – диаметр ПСЧ;

$\Delta_{\text{ср}}$ – среднестатистический вылет алмазных зерен над связкой. Величина вылета $\Delta_{\text{ср}}$ может быть определена по формуле

$$\Delta_{\text{ср}} = 1,085(1 - \varepsilon)d_3, \quad (4)$$

где ε – относительное критическое значение глубины заделки зерен алмазов в связке. Для органических связок ε изменяется в пределах 0,7-0,9. При нижнем, наиболее опасном значении $\varepsilon = 0,7$, вылет зерен $\Delta_{\text{ср}}$ будет равен

$$\Delta_{\text{ср}} = 0,33d_3. \quad (5)$$

Результаты оптимизации параметров структуры кругов с ПСЧ показали, что диаметр частиц принимается равным размеру режущих зерен:

$$d_{\text{псч}} = d_3. \quad (6)$$

Тогда с учетом (5) и (6) активную площадь межзернового пространства $F_{\text{акт}}$ (формула 3) выразим через зернистость алмазов d_3 :

$$F_{\text{акт}} = \frac{\pi}{4} (0,5d_3 + 0,33d_3)^2 = 0,54d_3^2 \quad (7)$$

Исходя из условия заполняемости активной площади, предельная площадь продольного сечения стружки

$$F_{\text{стр}} = F_{\text{акт}} \cdot K_{\text{зап}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения стружкой активной площади межзернового пространства. Для твердого сплава этот коэффициент примем равным $K_{\text{зап}} = 0,6$.

Тогда площадь сечения стружки

$$F_{\text{стр}} = F_{\text{акт}} \cdot K_{\text{зап}} = 0,54d_3^2 \cdot 0,6 = 0,32d_3^2. \quad (9)$$

С другой стороны, площадь продольного сечения стружки $F_{\text{стр}}$ зависит от режимов резания и определяется произведением

$$F_{\text{стр}} = a_{\text{ср}} \cdot L_{\text{ср}}, \quad (10)$$

где $a_{\text{ср}}$ – средняя толщина слоя, снимаемого зерном, измеренная в направлении продольной подачи, мм; $L_{\text{ср}}$ – средняя длина срезаемой стружки, мм. Для схемы плоского шлифования торцом круга, реализуемой в процессе заточки, длина среза практически равна ширине обрабатываемой пластины твердого сплава $B(L_{\text{ср}} = B)$.

При плоском торцевом шлифовании средняя толщина стружки $a_{\text{ср}}$, мм, может быть вычислена по формуле

$$a_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{пр}} \cdot l_{\text{ср}}}{6 \cdot 10^4 v_{\text{к}} \sqrt{(1 + S_{\text{пр}}^2) / (6 \cdot 10^4 v_{\text{к}})^2}} \quad (11)$$

или, учитывая незначительную величину подкоренного слагаемого

$$a_{\text{ср}} = S_{\text{пр}} \cdot l_{\text{ср}} / 6 \cdot 10^4 v_{\text{к}}, \quad (12)$$

где $l_{\text{ср}}$ – средневероятное расстояние между режущими (рабочими) зернами, мм;

$v_{\text{к}}$ – скорость шлифования, м/с.

При равномерном распределении зерен в объеме круга расстояние между зернами $l_{\text{ср}}$ можно выразить через соотношение

$$l_{\text{ср}} = 1 / \sqrt{Z_{1\text{р}}}, \quad (13)$$

где $Z_{1\text{р}}$ – число рабочих зерен на единице площади поверхности круга, определяемое по формуле Резникова А.Н., шт/мм²

$$Z_{1\text{р}} = Z_{10} \cdot K_{\text{р}} = \frac{3KM(a)}{200\pi d_3^2} \cdot K_{\text{р}} \quad (14)$$

где Z_{10} – общее число зерен на единице поверхности круга.

В конечном итоге зависимость (10) примет вид:

$$F_{\text{стр}} = \frac{S_{\text{пр}} \cdot L_{\text{ср}}}{6 \cdot 10^4 v_{\text{к}} \sqrt{\frac{3KM(a)K_{\text{р}}}{200\pi d_3^2}}} \quad (15)$$

Здесь K – концентрация алмазных зерен, %; $M(a)$ – функция (рисунок 1), зависящая от коэффициента формы алмазных зерен α (рисунок 2).

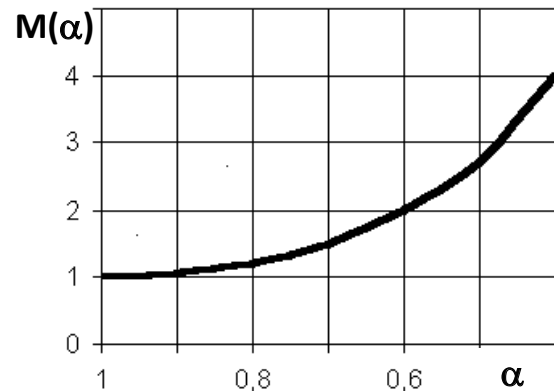


Рисунок 1 – График функции $M(\alpha)$

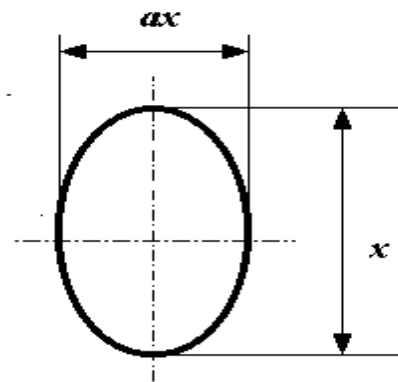


Рисунок 2 – Схематизация зерен алмазов по А.Н. Резникову

В паспорте на алмазные круги форма алмазных зерен обычно не устанавливается и не указывается. В работе [3] было определено число зерен AC2, AC4, AC6 величиной 63/50 – 200/160 различной формы в объемной и весовой единице алмазоносного слоя. При этом предложены изометричная, пластинчатая, игольчатая и промежуточные формы алмазных зерен. Установлено, что наиболее вероятной формой (до 84%) в навеске является промежуточная (между изометричными и пластичными, игольчатыми) с соотношением сторон равной $\alpha = 0,7 - 0,5$. Кроме того, круги с зернами алмазов такой формы имеют наивысшие показатели работоспособности. Поэтому установим конкретную величину коэффициента формы равной двум – $M(\alpha) = 2$.

K_p – коэффициент, учитывающий число рабочих зерен. Многочисленные исследования показали, что доля непосредственно снимающих стружку зерен обычно составляет от 10 до 12% от общего числа зерен на режущей поверхности кругов ($K_p = 0,10 \div 0,12$). Примем среднее численное значение коэффициента $K_p = 0,11$.

Подставив известные и принятые величины в формулу Резникова А.Н. (14) получим:

$$Z_{1p} = Z_{10} \cdot K_p = \frac{3KM(\alpha) \cdot K_p}{200\pi d_3^2} = \frac{K}{1000d_3^2}$$

С учетом степени найденное выражение можно представить как:

$$\sqrt{\frac{K}{1000d_3^2}} = \frac{0,1\sqrt{K}}{d_3\sqrt{10}} = \frac{0,032\sqrt{K}}{d_3} \quad (16)$$

Тогда окончательная формула (15) для нахождения величины площади срезаемой стружки будет иметь вид

$$F_{ср} = \frac{S_{пр} \cdot L_{ср} \cdot d_3}{6 \cdot 10^4 v_k 0,032\sqrt{K}} \quad (17)$$

Учитывая, что $L_{ср} = V$ и, объединив выражения (9) и (17)

$$0,32d_3^2 = \frac{S_{пр} \cdot L_{ср} \cdot d_3}{6 \cdot 10^4 v_k 0,032\sqrt{K}},$$

получим зависимость для определения максимально возможной продольной подачи $S_{пр}$:

$$S_{пр} = \frac{614,4d_3 \cdot v_k \sqrt{K}}{V} \quad (18)$$

Для проверки достоверности данной формулы ниже приведен пример расчета максимальной продольной подачи $S_{пр}$ заточки твердосплавных резцов алмазными кругами на органической связке В2-01 с ПСЧ. Соотношение объемов связки и ПСЧ, исходя из результатов оптимизации параметров структуры, принято равным 3. Концентрация

зерен алмазов – 100%-я ($K = 100\%$). Размер алмазных зерен 100/80 ($d_3 = 0,1$ мм) равен диаметру ПСЧ ($d_3 = d_{псч}$). Скорость круга $v_k = 30$ м/с; ширина шлифуемой пластинки твердого сплава $B = L_{ср} = 10$ мм. По зависимости (18) рассчитана величина продольной подачи $S_{пр} = 1843,2$ мм/мин = 1,8 м/мин. Это теоретически подсчитанное значение практически совпадает с рекомендуемой величиной подачи серийными кругами при чистовой заточке твердосплавного инструмента [4].

В конечном итоге, объединяя зависимости (1), (2) и (18), получим формулу для расчета производительности заточки твердосплавного инструмента алмазными кругами на органических связках

$$Q = \frac{614,4d_3 \cdot v_k \sqrt{K}}{V} \cdot \frac{d_3}{2} \cdot B = 307,2d_3^2 \cdot v_k \sqrt{K} \quad (19)$$

Так, для приведенного выше примера ($d_3 = 0,130$ м/с, $v_k = 30$ м/с, и $K = 100\%$) численное значение производительности будет равно $Q = 921,6$ мм³/мин.

Анализ формулы подтвердил, что основное влияние на производительность оказывает размер алмазных зерен, ограничиваемый требуемой шероховатостью обрабатываемой поверхности (для твердосплавного инструмента шероховатость режущей части R_a не должна превышать 0,32 мкм). В меньшей степени на производительность влияет концентрация алмазных зерен. Полученные формулы могут быть использованы для разработки алгоритмов режимно-инструментального оснащения операции заточки твердосплавного инструмента.

Список литературы

- 1 Курдюков В. И., Коротовских В. К. Повышение производительности шлифования алмазными кругами на органических связках // СТИН. 1999. №12. С.23–25.
- 2 Курдюков В. И., Коротовских В. К. Назначение режима заточки твердосплавного напайного инструмента // СТИН. 2002. №1. С.28–29.
- 3 Ящерицын П. И., Зайцев А. Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. Минск : Наука и техника, 1972. 478 с.
- 4 Абразивная и алмазная обработка материалов : справочник / под ред. А. Н. Резникова. М. : Машиностроение, 1977. 391 с.

ТРАНСПОРТ

УДК 629. 113. 004: 621. 89

М.М. Долгорсурэн, С.П. Жаров
Курганский государственный университет

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы организации сбора и рационального использования отработанных масел, а также влияние отработанных смазочных материалов на экологическое состояние окружающей среды. Предлагается система сбора и вторичного использования отработанных масел, для этой цели предложено создание пунктов приемки отработанных масел через систему АЗС.

Ключевые слова: утилизация отработанных масел, пункты приемки смазочных материалов, загрязнение окружающей среды.

M.M. Dolgorsuren, S.P. Zharov
Kurgan State University

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY USING LUBRICANTS IN MOTOR TRANSPORT

Annotation. The article considers the questions of organizing the used engine oil salvage and the influence of used lubricants on the ecological state of the environment. A system of used oils salvage is suggested. For this purpose we proposed the organization of used engine oil collection points through a system of filling stations.

Keywords: used engine oil salvage, lubricants collection points, environmental contamination.

ВВЕДЕНИЕ

Современный парк автотранспортных средств потребляет более 30% всех производимых нефтепродуктов. При сгорании топлива в двигателях внутреннего сгорания образуется значительное количество токсичных и канцерогенных веществ. Масла, отработавшие в агрегатах автомобилей, требуют сбора и переработки, что в большинстве регионов нашей страны экономически нецелесообразно. Таким образом, использование эксплуатационных материалов на АТС должно быть не только рациональным с экономической точки зрения, но и в значительной степени рациональным с точки зрения экологии.

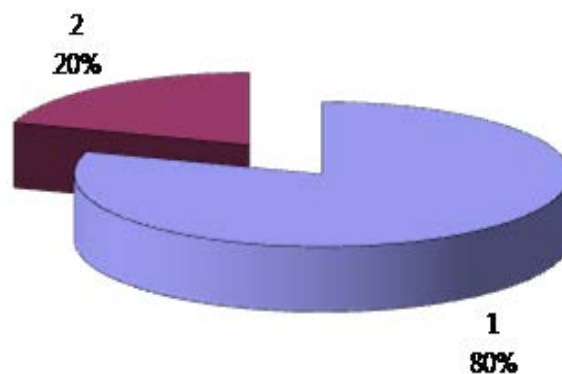
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Вопросы рационального использования автомобильных смазочных материалов необходимо рассматривать с учетом трехэтапного процесса жизненного цикла масел и с обязательным учетом экологического воздействия на окружающую среду.

Первый этап начинается с момента производства материала и включает весь период использования смазочного материала в автомобиле. С точки зрения вопросов эксплуатации автомобилей этот этап, безусловно, важный и в то же время наиболее разработанный и реализованный на рынке, а вопрос сбора, хранения и повторного использования отработанных нефтепродуктов менее реализован, но он также требует внимания в связи с отрицательным экологическим воздействием на окружающую среду.

В условиях 80-х годов сбор отработанных масел реализовывался в рамках государственной монополии в системе Госкомнефтепродукта.

Более 80% всего автомобильного транспорта эксплуатировалось в государственных и кооперативных предприятиях, которые получали смазочные материалы в размере выделенных государством фондов и должны были в обязательном порядке сдавать отработанные масла на предприятия нефтепродуктообеспечения (нефтебазы). На рисунке 1 представлена доля эксплуатируемого автомобильного транспорта по состоянию на 1985 год.



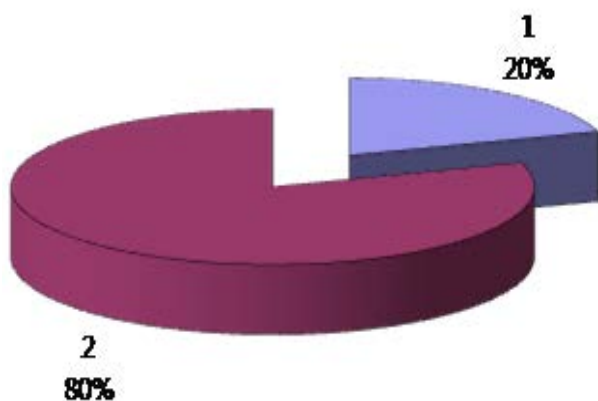
1 – государственные и кооперативные предприятия;
2 – физические лица

Рисунок 1 – Доля эксплуатируемого автомобильного транспорта по состоянию на 1985 год

В настоящее время система сбора и переработки отработанных масел претерпела серьезные изменения. Так как более 80% автомобильного транспорта находится у физических лиц, а не у государственных и кооперативных предприятий, проблема сбора и хранения отработанных смазочных материалов становится достаточно простой задачей.

Государство в основном воздействует на дан-

ный процесс через систему штрафных санкций и воспитательную работу «Система экологического образования». На рисунке 2 представлена доля эксплуатируемого автомобильного транспорта по состоянию на 2016 год.



1 – государственные и кооперативные предприятия;
2 – физические лица

Рисунок 2 – Доля эксплуатируемого автомобильного транспорта по состоянию на 2016 год

В разработку новых материалов и их продвижение вкладываются огромные средства, в том числе и на российском рынке постоянно ведется острая конкурентная борьба между производителями материалов. В настоящее время ведущие компании производителей смазочных материалов интересуют вопросы применения, а вопрос утилизации остаётся открытым.

Существует проблема сбора отработанных моторных масел, так как не все масла совместимы между собой, то есть нельзя осуществлять сбор масел в единую ёмкость. Предотвращение загрязнения возможно только при правильно организованном сборе и хранении смазочных материалов. В результате старения и загрязнения масло темнеет, в нем увеличивается содержание механических примесей. Также при попадании в нефтепродукты воды скорость коррозионного разрушения металлов значительно возрастает, так как в этом случае наряду с химической коррозией начинает протекать процесс электрохимической коррозии. На рисунке 3 приведена сравнительная характеристика минеральных и синтетических масел.

В ходе исследования этапа «Сбор отработанного масла, а также его транспортировка» выяснилось, что в Кургане по состоянию на начало 2016 года существует три пункта приёма отработанных масел. Но данные пункты в дальнейшем транспортируют собранные масла в более крупные города, на что уходят дополнительные средства (затраты). Также оказалось, что минимальный объём приёма отработанного масла составляет 10 м³, что оказывается недоступным для физических (частных лиц). Закупка масел происходит на условиях самовывоза, что ещё более затрудняет процесс приёма отработанных масел.

| Свойство* | Минеральное по- рафинированное масло | Синтетические масла | | | | | | | |
|---|--|----------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|---|---------------------|--------------------------------|------------------|
| | | Углеводородные | | Полиэфирные | | | Полигли- колевые | Эфиров фосфорной кислоты | Силико- новые |
| | | Полиаль- фаоле- фины | Алилл- бензолы | Дикар- боновых кислот | Поли- гликоль- эфирные | | | | |
| смазывающие | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 6 | 3 | |
| текучесть | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 6 | |
| индекс вязкости | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 2 | 6 | |
| низко- температурные | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | |
| термостабильность | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | |
| термоокислитель- ная стабильность | 3 | 5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 3 | 4 | |
| смешиваемость | 6 | 6 | 6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | |
| испаряемость | 3 | 6 | 4 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | |
| гидролитическая стабильность | 6 | 6 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 | |
| антикоррозионные | 6 | 6 | 6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | |
| растворяющая спо- собность по отно- шению к присадкам | 6 | 4 | 6 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | |
| огнестойкость | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 6 | 3 | |

*Оценка свойств в баллах: 6-превосходно; 5-отлично; 4-хорошо; 3-удовлетворительно; 2-плохо

Рисунок 3 – Сравнительная характеристика минеральных и синтетических масел

Основными нормативными документами, действующими в этой области, до сих пор являются ГОСТ 21046-86 «Нефтепродукты отработанные. Общие технические требования» и «Инструкция об организации сбора и рационального использования отработанных нефтепродуктов в Российской Федерации» (приказ министерства топлива и энергетики Российской Федерации от 25 сентября 1998 года № 311).

В настоящее время понятию «экологический сбор» дано следующее толкование – это плата за неисполнение обязанности производителя товаров по утилизации отходов от использования этих товаров в связи с утратой ими потребительских свойств. Это следует из пп. 1, 7 ст. 24.2 Закона об отходах. То есть в данной программе утилизации отработавших масел основную роль должны играть производители масел.

В год на внутреннем рынке России потребляется от 555,56 до 740,74 тыс. тонн автомобильных масел. Если учесть, что в стране проживает примерно 180 млн человек, то эти цифры могут соответствовать потреблению от 3,8 до 5,1 литра разных автомобильных масел и смазок на 1 человека в год. В Европе знают, что для производства 1 л нового высококачественно смазочного масла требуется 67,2 л сырой нефти и только 1,6 л отработанного масла.

При этом можно заметить, что если развитие производства и использования смазочных материалов за последние 25-30 лет в России получили резкое развитие благодаря рыночным отношениям, то процессы сбора утилизации и переработки отработанных материалов, наоборот, решаются все хуже. Такое состояние можно объяснить слабой заинтересованностью бизнеса в решении этих вопросов и сложностями на пути решения данной проблемы на государственном уровне.

Отработанное масло классифицируется как опасные отходы класса 2 или 3 (высокоопасные или умеренноопасные) и контролируется Базельской конвенцией о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением.

Отработанное масло несет в себе серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья людей. Оно опаснее, чем сырая нефть, поскольку в нем содержатся измененные в ходе эксплуатации добавки, полиолефины, смолы, асфальтены, карбены, механические примеси и другие загрязнители.

Отработанное масло:

– загрязняет водные ресурсы и почву;

– обладает канцерогенным, мутагенным действием и влияет на репродуктивные функции.

Попадание нефтепродуктов в окружающую природную среду происходит на всех этапах их жизненного цикла:

- на этапе добычи нефти и при ее переработке;

- в сфере торговли в результате халатного хранения, проливов и протечек;

- при использовании нефтепродуктов в технике или в качестве топлива;

- в процессе сбора и переработки отработанных масел и нефтеотходов;

- при переработке и повторном использовании отработанных масел и уничтожении нефтеотходов.

Поскольку нефть и нефтепродукты являются невозобновляемыми продуктами, их жизненный цикл не может быть замкнутым. Поэтому одна из особенностей нефтепродуктов в целом и отработанных масел в частности состоит в том, что они в конечном итоге все равно попадают в окружающую природную среду либо в непереработанном виде в воду и почву, либо посредством переработки или уничтожения в виде выбросов дымовых газов в атмосферу. И только применительно к моторным и другим смазочным маслам цикл может быть частично замкнут посредством их переработки с целью повторного использования.

Сегодня существуют законы, регулирующие вопросы, связанные с утилизацией отработанных масел, однако отсутствует эффективная система сбора отработанных материалов. Бизнес не заинтересован решать эти вопросы, в эту сферу не вкладываются средства, и практически каждый субъект решает эти вопросы по своей программе. Наиболее широко используется три направления вторичного использования отработанных масел: первое – использование отработанных масел для производства новых нефтепродуктов, второе – использование отработанных масел для получения тепловой энергии в основном для отопления производственных помещений, третье – утилизация непригодных к дальнейшему использованию нефтепродуктов.

Проведя анализ мировой практики, можно в качестве одного из решений данного вопроса предложить создание пунктов приемки отработанных масел через систему АЗС. Такой подход будет наиболее рациональным, так как в мире распространена практика ответственности производителя за свою продукцию с момента продажи и до утилизации. Сегодня рынок автозаправочных станций в России продолжает развиваться. В мегаполисах,

таких как Москва, Екатеринбург, сеть автозаправочных станций в основном сформировалась и её развитие идет по пути технического совершенствования и расширения функциональности.

Согласно данным Российского топливного союза (Доклад на совещании ЦМТУ Росстандарта 10 декабря 2013 г.) [1], в 2012 году было зарегистрировано 21203 АЗС, из них 7373 АЗС принадлежат ведущим компаниям, а 13830 – независимые АЗС.

В 2014 году сеть автозаправочных станций России, по данным различных источников, оценивается в широком диапазоне, так, например, по данным автостата, имеется информация о 24666 АЗС [2]. В Курганской области, по данным, 208 АЗС, в Кургане – 69 АЗС. По данным другого источника [3], в России насчитывается 45000 АЗС.

Статистические данные, характеризующие количество АЗС, имеют важное значение в вопросе ресурсосбережения при использовании смазочных материалов на автомобильном транспорте.

Все автотранспортные и другие организации независимо от объема потребления свежих нефтепродуктов обязаны осуществлять сбор и сдачу на базы нефтесбытовых организаций отработанные масла.

Предприятия транспорта должны сдавать не менее 25% годового потребления смазочных масел. Норма сбора и сдачи планируется как по организации в целом, так и по группам отработанных нефтепродуктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование предлагаемой системы сбора и вторичного использования отработанных масел, в виде создания пунктов приемки отработанных масел через систему АЗС приведёт к ресурсосбережению при использовании смазочных материалов на автомобильном транспорте.

Такой подход будет наиболее рациональным, так как в мировой практике распространена практика ответственности производителя за свою продукцию с момента продажи и до утилизации.

Список литературы

1 Доклад на совещании ЦМТУ Росстандарта 10 декабря 2013 г. URL: <http://www.rfu.ru/images/docs/analitika>, свободный.

2 Поиск АЗС по регионам компаниям и направлениям. АЗС в России. URL: <http://www.benzin-price.ru/zapravka.php?region>, свободный.

3 Сколько АЗС в России. URL: <http://www.magistral116.ru/articles/article>. Своялдный.

4 Жаров С. П. Эксплуатационные материалы: учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. университета, 2012. 168 с.

С.А. Рынкевич
Белорусский национальный технический
университет, г. Минск, Республика Беларусь

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БОРТОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Аннотация. В статье даны теоретические положения, которые могут быть положены в основу управления и диагностирования трансмиссий автотранспортных средств с применением бортовой микроэлектроники. Рассмотрены конкретные технические решения электронных систем управления и диагностирования гидромеханических трансмиссий мобильных машин. Описана тенденция развития автомобилей с комбинированной энергетической установкой, которая является перспективным направлением в области современного автомобилестроения.

Ключевые слова: автотранспортное средство, автоматизация, управление, диагностирование, бортовая система, алгоритм, гидромеханическая передача, комбинированная энергетическая установка.

S.A. Rynkevich
Belarusian national technical university

BASICS OF MANAGEMENT AND TEST OF MOTOR VEHICLES USING ON-BOARD MICROELECTRONICS

Annotation. The article gives theoretical provisions that can be used as a basis for the management and test of vehicle transmissions using on-board microelectronics. Specific technical solutions of electronic control systems and diagnostics of hydromechanical transmissions of mobile machines are considered. We describe the tendency of development of motor vehicles with the combined propulsion system, which is a perspective direction in the field of modern motor industry.

Keywords: vehicle, automation, control, diagnostics, on-board system, algorithm, hydromechanical transmission, combined propulsion system.

Многоступенчатые коробки передач и гидромеханические трансмиссии транспортных средств: проблемы их эксплуатации

В конструкциях автомобилей, тракторов, строительного-дорожного и других мобильных машин широкое применение получили гидрофицированные механизмы, в том числе гидромеханические передачи (ГМП), что способствует увеличению срока службы двигателя и трансмиссии, уменьшению количества ступеней в механической части трансмиссии, сокращению числа переключений передач, повышению проходимости и комфортабельности за счет более плавного изменения момента на ведущих колесах при трогании с места и разгоне [1].

На современном этапе развития транспортной техники происходит быстрая смена выпускаемых моделей при интенсификации процессов модификации мобильных машин, возрастании числа новых разработок, что обеспечивает подвижным объектам более высокие потребительские качества и конкурентоспособность на рынках сбыта.

Разрабатываемые мобильные машины и их механизмы должны превосходить существующие, иметь высокие показатели технического уровня и эффективности их использования. Эффективное и надежное функционирование мобильных машин может быть обеспечено лишь путем применения самых совершенных принципов, методов и технических средств определения их технического состояния, т.е. современных методов диагностирования.

Для качественного определения технического состояния гидромеханических передач мобильных машин, оперативной постановки технического диагноза, своевременного выявления опасных отклонений параметров, обнаружения отказов и скрытых дефектов, предотвращения появления неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса необходимо использовать современную научную методологию, основанную на экспериментальных и теоретических методах исследований и новых способах обработки результатов исследований.

На автотранспортных средствах (АТС) применяют **механические трансмиссии**, в состав которых входит **многоступенчатая коробка передач**, позволяющая изменять передаточные числа трансмиссии. Функции трансформаторных элементов в механической трансмиссии выполняют зубчатые передачи, осуществляющие преобразование параметров потока энергии, передаваемой от двигателя к ведущим колесам автомобиля. Параметрами потока энергии являются вращающие моменты и угловые скорости вращения валов, на которых расположены шестерни зубчатых передач. Преобразование вращающего момента характеризуется коэффициентом трансформации, а угловой скорости – передаточным числом [1]:

$$K = M_{\text{ВЫХ}} / M_{\text{ВХ}} ; \quad (1)$$

$$u = \omega_{\text{ВХ}} / \omega_{\text{ВЫХ}} = n_{\text{ВХ}} / n_{\text{ВЫХ}} ; \quad (2)$$

где K – коэффициент трансформации вращающего момента; u – передаточное число трансформатора (зубчатой передачи); $M_{\text{ВХ}}, M_{\text{ВЫХ}}$ – вращающие моменты на входе и выходе зубчатой передачи, Н·м; $\omega_{\text{ВХ}}, \omega_{\text{ВЫХ}}$ – угловые скорости вращения ведущей и ведомой шестерен зубчатой передачи, рад/с; $n_{\text{ВХ}}, n_{\text{ВЫХ}}$ – частоты вращения этих же шестерен, об/мин.

Коэффициент трансформации K отличается от передаточного числа u тем, что он учитывает потери энергии в зубчатом зацеплении:

$$K = u\eta, \quad (3)$$

где η – КПД трансформатора (зубчатой передачи).

Характерной особенностью зубчатой передачи является постоянство передаточного числа u , поэтому для получения необходимого диапазона изменения скорости движения автомобиля и вращающего момента на ведущих колесах применяют многоступенчатую коробку передач (МКП).

Основные преимущества многоступенчатой механической трансмиссии – высокий КПД и сравнительно простая конструкция. Однако ступенчатое преобразование параметров потока энергии с помощью МКП затрудняет возможность оптимального использования мощности двигателя и усложняет обоснованный выбор передаточного числа коробки передач. В результате снижается использование мощности двигателя и производительность автомобиля, повышается напряженность работы водителя в сложных дорожных условиях. Этим объясняется необходимость и целесообразность использования в составе трансмиссии **бесступенчатой передачи**.

Бесступенчатое преобразование параметров потока энергии могут осуществлять *гидродинамические, гидрообъемные и электрические передачи*, а также *вариаторы* различных конструкций.

Бесступенчатая передача (БП) позволяет плавно и непрерывно изменять вращающие моменты на ведущих колесах и скорость движения АТС в зависимости от нагрузки, дорожных условий и управляющих воздействий водителя на педаль акселератора. Применение БП улучшает функциональные свойства трансмиссии, облегчает и упрощает управление, повышает технико-экономические показатели, технический уровень и конкурентоспособность автомобиля. Динамическая характеристика мобильной машины с БП приближается к гиперболическому виду, т.е. к идеальной форме, что способствует его приспособляемости к изменяющимся нагрузкам, повышению сред-

ней скорости движения и производительности. Плавное и непрерывное преобразование параметров потока энергии, подводимой к ведущим колесам, способствует снижению их буксования, оказывает положительное влияние на проходимость, снижает динамические нагрузки на механизмы трансмиссии и двигатель и за счет этого значительно увеличивает их срок службы. Вместе с тем БП по сравнению с механическими ступенчатыми коробками передач гораздо сложнее по конструкции, требуют более совершенных технологических процессов производства, технического обслуживания и ремонта, что приводит к увеличению производственных и эксплуатационных затрат и к необходимости использования обслуживающего персонала более высокой квалификации. Стоимость современных гидро-механических передач (ГМП) составляет до 20% стоимости всего АТС, а выход их из строя сопровождается большими материальными затратами. Этим обусловлена настоятельная потребность внедрения систем автоматизированного управления и непрерывного диагностирования технического состояния этих сложных и дорогостоящих передач.

Недостатками современных бесступенчатых передач являются сравнительно низкий КПД и ограниченный диапазон регулирования вращающего момента и скорости. В связи с этим их обычно используют в сочетании с механическими зубчатыми передачами, позволяющими повысить КПД трансмиссии и получить необходимый диапазон регулирования.

В зависимости от типа используемой бесступенчатой передачи различают следующие виды трансмиссии: *гидромеханические* (ГМТ), *гидрообъемно-механические* (ГОМТ), *электромеханические* (ЭМТ). Одним из существенных достоинств этих видов трансмиссий является их хорошая приспособленность к автоматическому управлению процессами трансформации параметров потока энергии, передаваемой к ведущим колесам.

Гидродинамические передачи обладают свойством саморегулирования и представляют собой автоматические трансформаторы механической энергии. Гидрообъемные и электрические передачи несаморегулируемые. Их потенциальные возможности в полной мере могут быть реализованы лишь при применении систем автоматического управления.

Применение ГМП в конструкции автомобилей увеличивает срок службы двигателя и трансмиссии, а также повышает проходимость и комфортабельность за счет более плавного изменения момента на ведущих колесах, трогания с места и разгона.

Основная проблема автоматизации управления / диагностирования гидрофицированными мобильными машинами связана с многообразием и огромной сложностью происходящих при функционировании процессов. Для ее решения необходимо использование технологий и методов,

основанных на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории автоматического управления.

Переход на новый этап проектирования систем управления трансмиссиями АТС

Выделим несколько противоречий, возникших на нынешнем этапе развития научно-технического прогресса.

С одной стороны, появились широкие возможности управления / диагностирования, связанные с развитием и внедрением на машинах современных быстродействующих систем, совместимых с портативной вычислительной техникой, появлением развитого программного обеспечения, прикладных средств и программных комплексов. Но возникает существенное противоречие традиционных алгоритмов управления / диагностирования: чем больше полнота снимаемой датчиками и обрабатываемой процессором информации, тем длительнее сама процедура выдачи управляющих команд. Сюда относится и низкое быстродействие получаемого диагноза и неточность указания места локализации неисправности. А это чревато серьезными последствиями: снижением эффективности диагностирования и, как следствие, возникновением неисправностей и поломок из-за необнаруженных и своевременно не предотвращенных опасных и аварийных ситуаций, что приводит к снижению безопасности.

Системы автоматизированного управления / диагностирования, использующие традиционные и порой устаревшие методы, позволяют решать частные задачи, не обладают оперативностью, не способны функционировать в режиме реального времени, не приспособлены к постоянно изменяющимся условиям. Они не учитывают одновременно многих обстоятельств и ситуаций, не способны подвергать адекватному анализу характеристики механизмов, внешней среды, субъективные фак-

торы, связанные с деятельностью водителя, механика и т.д. И хотя появились новые средства измерения и электронные устройства, это, однако, не решает проблемы в полной мере и требует поиска других подходов.

Появление новых средств и методов получения, представления, передачи и обработки информации, увеличение возможностей бортовых компьютеров и средств микропроцессорной техники, использование новых технологий стимулировало процесс разработки перспективных диагностических систем, использующих новые информационные технологии.

В связи с качественным прогрессивным изменением уровня производительных сил общества в настоящее время назрела необходимость формирования новой идеологии, или парадигмы, т.е. совокупности мировоззренческих концепций, лежащих в фундаменте соответствующей науки (рисунок 1). *Парадигма-идеология* включает концептуальные рамки науки; основные установки; конкретные традиции научного исследования; совокупность убеждений, ценностей и технических средств; главные философские элементы и т.д. В основе этой парадигмы-идеологии лежит новый подход к автоматизации технического объекта. Главное направление и задача новой идеологии автоматизации – это обеспечение высокого технического уровня создаваемых машин, их совершенствование и повышение конкурентоспособности. Новая идеология предусматривает совокупность интеллектуального управления при создании бортовых систем, применение новых методов сбора, анализа и представления информации и новых информационных технологий. В этой связи она порождает ряд концепций, теорий, тенденций и идей, требующих разработки соответствующего понятийного аппарата, гипотез, методологий и методов.

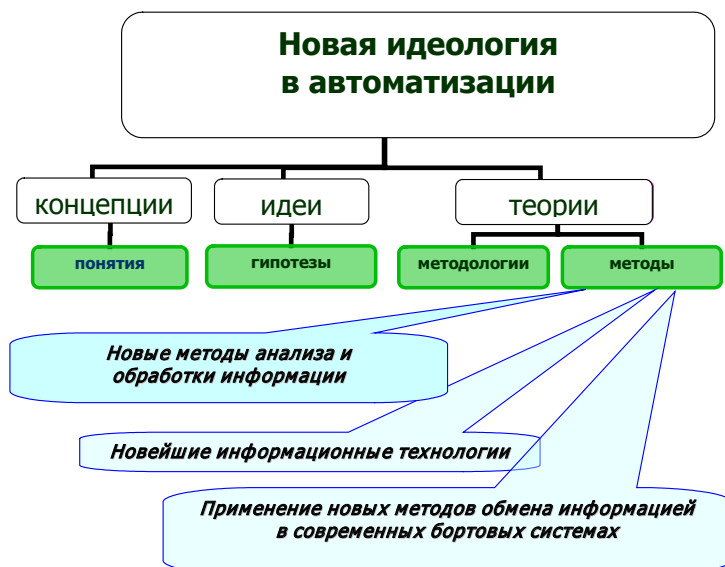


Рисунок 1 – Новая идеология в автоматизации подвижных объектов

Идеология автоматизации управления и диагностирования воплощается в практику на основе создания соответствующих интеллектуальных систем [1]. В настоящее время процесс автоматизации управления и диагностирования гидрофицированных машин должен осуществляться на основе создания интеллектуальных систем, способных одновременно учитывать большое количество различных характеристик, функционировать в режиме реального времени и реализовывать алгоритмы, подобные логике человеческого мышления. Интеллектуальные системы (ИС), в отличие от обычных, работают со знаниями; они наделены функциями распознавания, обучения, прогнозирования.

В основе создания ИС лежат принципы искусственного интеллекта. Использование этих принципов позволяет значительно расширить потенциальные возможности методов и средств диагностирования и получить гибкие алгоритмы диагностирования, отражающие многообразие различных факторов. Системы управления / диагностирования, функционирующие по таким алгоритмам, способны в сложной обстановке оперативно принимать решения, свойственные логическому мышлению человека; непрерывно реагировать на всевозможные изменения внешних воздействий; осуществлять постоянный анализ и оценку текущих ситуаций; идентифицировать и распознавать их; обеспечивать с человеком взаимопонятный диалог и давать рекомендации водителю (оператору); осуществлять анализ речевых команд.

В качестве научной основы создания таких систем используются новое научное направление под названием «Теория искусственного интеллекта» (ТИИ). ТИИ включает в себя различные информационные технологии. Наиболее распространенные технологии искусственного интеллекта – это экспертные системы, теория нечетких множеств и теория искусственных нейронных сетей [2; 3].

Использование этих технологий позволяет выйти на новый уровень проектирования электронных бортовых систем. Создание интеллектуальных систем управления и диагностирования (ИСУД) позволяет решить ряд проблем.

Во-первых, появляется возможность создания систем управления / диагностирования, использующих большое количество информации различной физической природы. Во-вторых, возникают условия для создания и реализации гибких алгоритмов, позволяющих системам приспосабливаться к изменению различных ситуаций и условий эксплуатации. В-третьих, упрощается конструкция автоматических систем и снижается стоимость создаваемых изделий. В-четвертых, появляются возможности использования программ управления / диагностирования в режиме реального времени. В-пятых, системы, наделен-

ные интеллектуальными качествами, приобретают способность к обучению (самообучению). Это выражается в расширении и значительном пополнении базы знаний таких систем в процессе эксплуатации объекта диагностирования; накоплению и осмыслению информации; запоминанию и распознаванию различных ситуаций, в том числе проявлений неисправностей, причин и условий их возникновения. В рамках новой идеологии автоматизации были разработаны стратегия и методология синтеза ИСУД для мобильных машин. Стратегия включает в себя несколько важнейших этапов: *разработка концепции ИСУД; разработка общей структуры ИСУД; синтез алгоритмов функционирования ИСУД; создание ИСУД в виде готового изделия; его реализация на объекте.*

Данные этапы диалектически взаимосвязаны и соответствуют следующим иерархическим уровням: философия и идеология; теоретизация; инженерия творчества; проектирование и производство; прогноз и перспективы.

Применительно к сфере автомобиле- и тракторостроения разрабатываемые системы технического диагностирования должны обеспечивать следующие основные функции:

- оперативное определение технического состояния основных механизмов автомобиля в текущий момент времени;
- диагностирование параметров элементов и механизмов трансмиссии, тормозной системы, подвески, гидропривода;
- осуществление непрерывного контроля основных параметров механизмов и их элементов (температуры, давления масла в магистралях и фрикционах, напряжения на электромагнитах и др.);
- идентификация и предотвращение опасных ситуаций, связанных с управлением автомобилем и функционированием его механизмов;
- осуществление защиты от ошибочных управляющих действий водителя;
- анализ информации о текущих процессах с выдачей водителю сигналов отклонений от технических требований;
- осуществление измерения пробега автомобиля, расхода топлива, количества перевозимого за смену груза и других параметров;
- обеспечение приема информации от других измерительных систем по любому из стандартных интерфейсов;
- выдача результатов диагностирования в текстовом и графическом виде;
- отображение текущего состояния объектов диагностирования в графическом режиме на дисплее в виде вербальной, символьной информации;
- осуществление диспетчеризации и ведения протоколов работы системы;
- хранение в памяти результатов текущего диагностирования, а также результатов техниче-

ского состояния, в котором находился автомобиль в прошлом, с возможностью выведения их на печать или перезаписи на электронные носители информации.

Для обеспечения отмеченных выше функций ИСУД должна иметь оригинальную конфигурацию и структуру [3]. Помимо традиционных микропроцессорных модулей в ее состав должна входить экспертная система, реализующая новые информационные технологии (например, нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и др.). В первом случае экспертная система выполняется на основе нечеткого контроллера с соответствующей аппаратной и программной реализацией и содержит интеллектуальный интерфейс с вычислительной системой верхнего уровня (RS-232, RS-485, CAN 2.0 В) и интеллектуальный интерфейс с подсистемой нижнего уровня (CAN 2.0 В, RS-485) с возможностью подключения любых локальных микропроцессорных устройств, поддерживающих стандартный протокол CAN 2.0 В.

Сотрудниками кафедры «Организация автомобильных перевозок и дорожного движения» Белорусского национального технического университета и членами научного коллектива других вузов в рамках ГПНИ (проф. С.А. Рынкевичем, доц. В.В. Кутузовым и др.), занимающимися автоматизацией управления гидрофицированными трансмиссиями АТС, разработаны группы диагностических и контролируемых параметров и структура ИСУД ГМП карьерного самосвала БелАЗ (рисунок 2).

Основные информационные параметры, такие как частота вращения вала двигателя, турбинного вала гидротрансформатора, входного и выходного вала коробки передач; положение педали акселератора; положение педали тормоза; скорость автомобиля; степень загрузки; давление в подвеске и другие, могут быть описаны функциями принадлежности нечеткой логики [4; 5]. Варианты построения экспертных систем ИСУД и реализуемые в них методы могут быть различными. На рисунке 2 б показан пример созданной экспертной системы для диагностирования гидромеханической передачи мобильной машины. Для вывода оператору сообщений экспертной системы могут создаваться специальные диалоговые окна (рисунок 2 в, г).

Сфера использования таких систем – мобильные машины и АТС различного назначения, в том числе карьерные автосамосвалы, строительные-дорожные машины, погрузчики, шахтные землевозы, подземная и военная техника и т.д. (рисунок 3).

Решение проблемы в сфере проектирования и эксплуатации трансмиссий АТС на основе новых технологий и путём гибридизации ГМП

К настоящему времени, **во-первых**, появи-

лись реальные возможности и назрела необходимость применения гибридных силовых установок в выпускаемой российским и белорусским машиностроением тяжелой мобильной технике, которая имеет гидромеханические трансмиссии, – путем гибридизации последних; **во-вторых**, появились условия для создания на этой базе гибридных электромеханических трансмиссий, которые (как преемники) становятся перспективным и ведущим направлением мирового развития гибридных силовых (энергетических) установок.

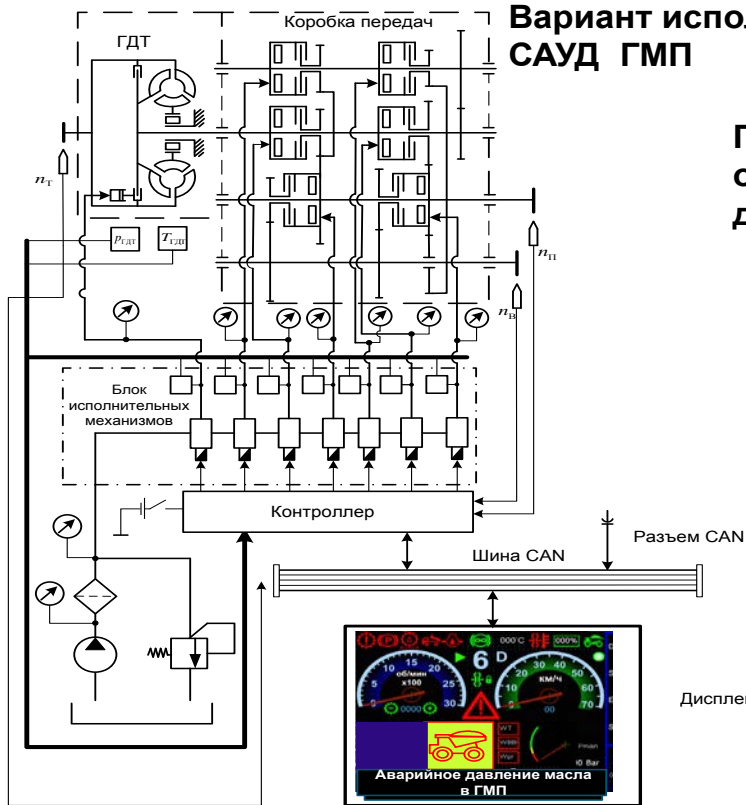
В связи с ухудшением экологической обстановки в современном автомобилестроении прослеживается тенденция развития автомобилей с **комбинированной энергетической установкой (КЭУ)**. Автомобили с КЭУ отличаются от традиционных наличием двух двигателей (**ДВС и электрического**).

Интерес к таким автомобилям вызван также тем, что они обладают меньшим расходом топлива и меньшей токсичностью отработавших газов, что *весьма актуально для крупных городов с большим автомобильным парком*.

Рассмотрим рисунок 4, иллюстрирующий распространение по годам различных типов трансмиссий, энергетических установок и автомобилей. Производство автомобилей, особенно легковых, с КЭУ идет по прогрессивной тенденции. Причем они постепенно замещают (если даже не сказать «вытесняют») классические типы трансмиссий: чисто механические и гидромеханические. В то же время модернизация тяжелой техники (например, большегрузных карьерных самосвалов с электрической трансмиссией) идет по регрессивной тенденции. Из рисунка 4 также видно, что область охвата перспективной техники на современном этапе представлена именно машинами с КЭУ, гибридными автомобилями и электромобилями.

Пример. Комбинированная гибридная трансмиссия CVT, установленная на автомобиле Toyota Prius (рисунок 5), разработчики назвали PSD (Power Split Device, устройство распределения мощности, «трёхходовая муфта»). Построено PSD на основе планетарной передачи, где с «солнечным колесом» соединён генератор, водило сателлитов соединено с двигателем, а «коронная шестерня» – с электромотором и колёсами. Поскольку соотношение диаметров (числа зубьев) шестерён планетарной передачи постоянное, планетарная передача делит крутящий момент двигателя внутреннего сгорания в постоянном отношении. Однако мотор-генератор, соединённый с «солнечным колесом» планетарной передачи, может быть больше или меньше нагружен электрическим током.

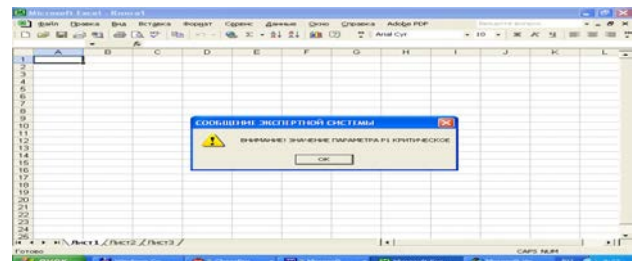
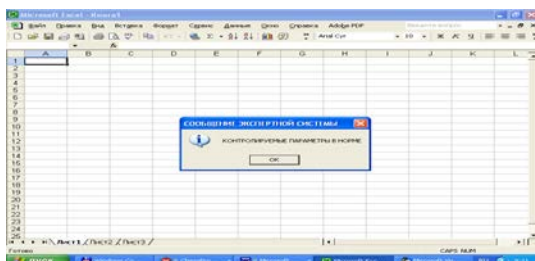
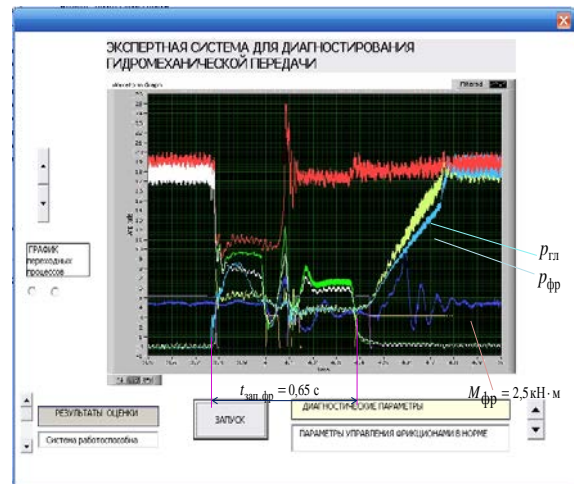
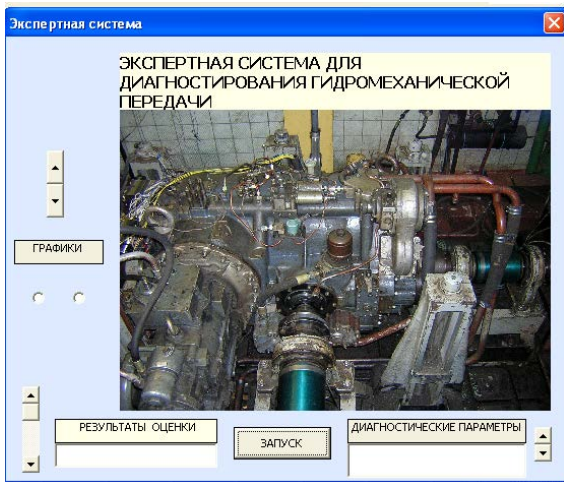
Вариант исполнения САУД ГМП



Программируемая панель оператора системы диагностирования ГМП



Дисплей



а – схема ИСУД; б – исходное состояние экспертной системы; в,г – диалоговые окна экспертной системы в случае отклика на нормальное (в) и опасное (г) состояние
Рисунок 2 – Структура ИСУД и процесс определения технического состояния гидропривода и трансмиссии экспертной системой АТС



а



б

а – самосвал-землевоз МоА3-75041 грузоподъемностью 27 т, б – самосвал шахтный МоА3-74052-9586 грузоподъемностью 25 т

Рисунок 3 – Землевозы и подземная техника ОАО «БелАЗ»

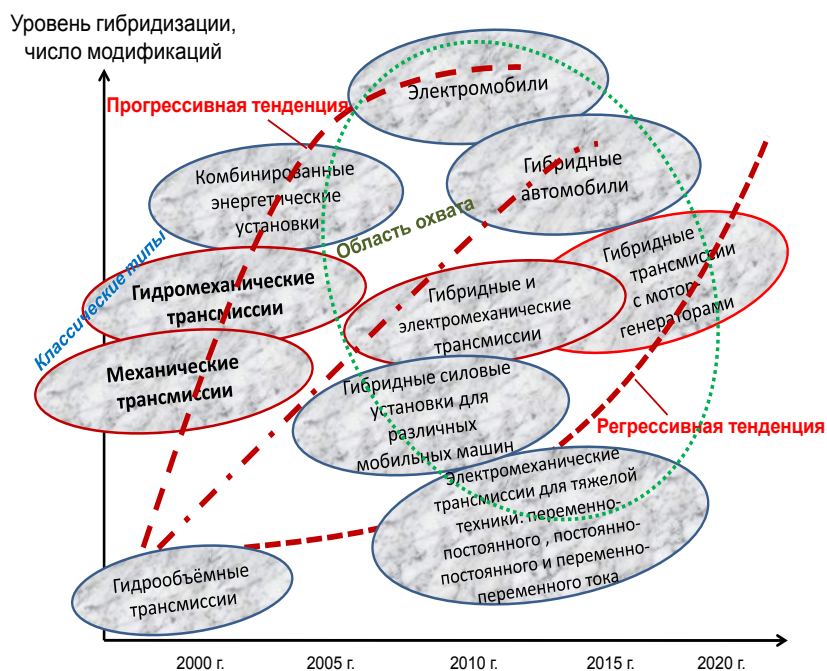


Рисунок 4 – Распространение различных типов трансмиссий, энергетических установок и автомобилей

Комбинированная гибридная трансмиссия

Управляет этим процессом контроллер гибридной системы автомобиля. Тормозной момент и, соответственно, частота вращения генератора могут изменяться в широких пределах (частота от – 6000 об/мин до +6000 об/мин), при этом генератор может работать и как электромотор. В связи с этим скорость вращения колёс автомобиля изменяется плавно, бесступенчато. При этом мощность, получаемая генератором, не пропадает и в виде электрической энергии поступает на тяговый электромотор и, объединяя усилия с моментом двигателя, приводит в движение автомобиль. Такой гибридный привод еще называют гибридным синергетическим приводом.

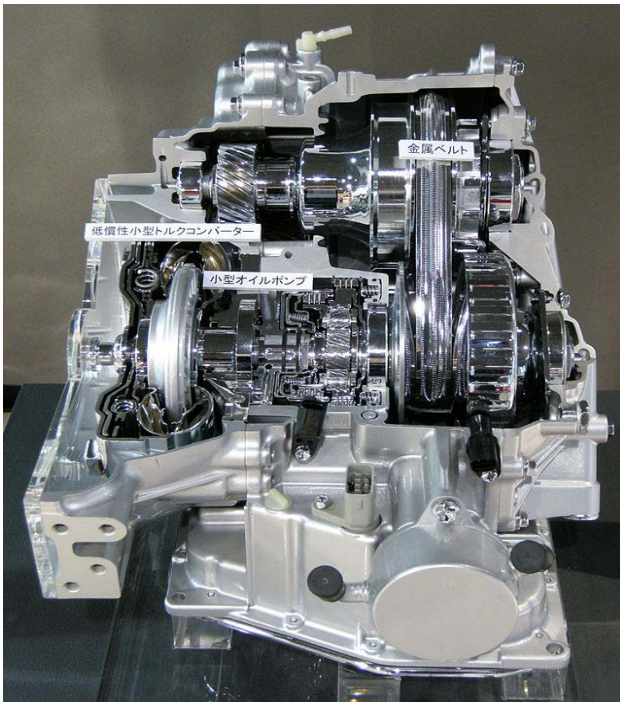


Рисунок 5 – Вариант конструкции гибридного привода (гибридной передачи)

ВЫВОДЫ

1 Автоматизация управления и диагностирования механизмами гидрофицированных мобильных машин и АТС должна осуществляться на новом уровне с учетом новой идеологии и на основе современных средств и методов сбора, обработки, анализа и передачи информации и создания на этой базе комплексных бортовых систем.

2 Вторым этапом решения проблемы в сфере проектирования и эксплуатации трансмиссий мобильных машин является развитие процесса *гибридизации гидромеханических трансмиссий и создание автомобилей с гибридными энергетическими установками.*

3 Третий этап – создание роботизированных подвижных объектов и техники на новейших научно-технических принципах с учетом новых интеллектуальных технологий.

Список литературы

- 1 Тарасик В. П., Рынкевич С. А. *Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами.* Минск : УП «Технопринт», 2004. – 512 с. : ил.
- 2 Тарасик В. П., Рынкевич С. А. *Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств.* Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2007. 280 с. : ил.
- 3 Рынкевич С. А. *Новые технологии и проблемы науки на транспорте.* Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2009. 337 с. : ил.
- 4 *Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко, А. Н. Егоров, В. В. Региня, С. А. Рынкевич, В. П. Тарасик, Г. Л. Антипенко ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика.* Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2010. 511 с. : ил.
- 5 Рынкевич С. А., Кутузов В. В. *Проектирование, эксплуатация и диагностика мобильных машин.* Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2016. 223 с. : ил.

УДК 629.113

Г.А. Дыко
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПНОГО ВАРИАТОРА ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. Рассмотрен проектный расчет цепного вариатора трансмиссии по известной методике на примере конструкции для легкового автомобиля с заданной технической характеристикой. Рассчитано предельное число циклов перемены напряжений до разрушения цепи вариатора.

Ключевые слова: автомобиль, трансмиссия, вариатор, цепь, параметры, расчет.

Н.А. Dyko
Belarusian national technical university

CALCULATION OF THE BASIC PARAMETERS OF THE CHAIN VARIATOR FOR THE VEHICLE TRANSMISSION

Annotation. We analyze the design calculation of a transmission chain variator according to a known calculation procedure on the example of a car construction with a set technical specification. The limiting number of stress change cycles before the destruction of the variator chain is calculated.

Keywords: vehicle, transmission, variator, variator chain, parameters, calculation.

При расчете вариатора с толкающей роликовой цепью необходимо учитывать:

- геометрию передачи, обеспечивающую регулирование в заданном диапазоне;
- долговечность цепи и КПД передачи;
- тяговую способность передачи.

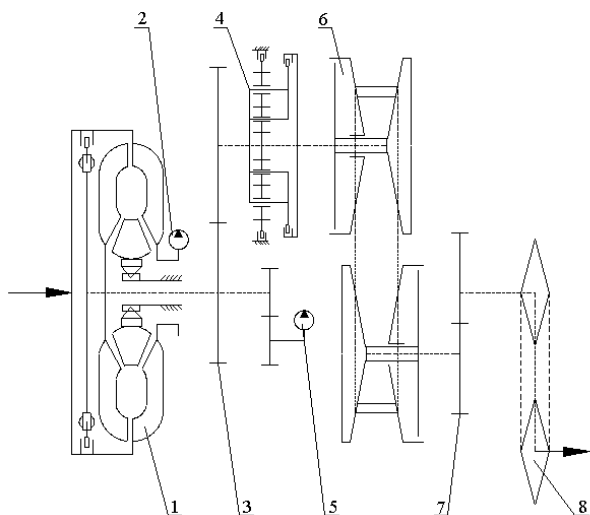
Первые два условия определяются выбором относительной ширины, угла канавки и отношения минимального диаметра к высоте цепи.

Допустимое полезное напряжение зависит от натяжения цепи, угла обхвата, скорости цепи, относительной величины малого диаметра и требуемой долговечности.

Рассмотрим проектный расчет цепного вариатора на примере конструкции, предназначенной для автомобиля с технической характеристикой, представленной в таблице 1, и кинематической схемой коробки передач, показанной на рисунке 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика автомобиля

| Параметр | Ед. изм. | Значение |
|--|---------------------------|--|
| Тип автомобиля | | полноприводный легковой автомобиль большого класса |
| Тип двигателя | | бензиновый |
| Мощность /при частоте вращения | кВт/ мин ⁻¹ | 200/6650 |
| Максимальный крутящий момент /при частоте вращения | Н × м / мин ⁻¹ | 315/2750 |
| Снаряженная масса | кг | 1975 |
| Полная масса | кг | 2680 |
| Максимальная скорость | км/ч | 225 |
| Размерность шин | | 275/40 R20 |
| Передаточное число главной передачи | | 5.54 |



1 – гидротрансформатор; 2 – насос управления;
3,7 – промежуточные передачи; 4 – планетарная передача с муфтой; 5 – силовой насос; 6 – клинцепной вариатор;
8 – раздаточная коробка с цепью
Рисунок 1 – Кинематическая схема коробки передач

Схема коробки передач включает клинцепной вариатор с односторонним движением дисков, состоящий из четырех полушків и металлической цепи типа Luk, планетарный редуктор с муфтой управления и гидротрансформатор. Коробка передач соединена с раздаточной коробкой, имеющей цепную передачу.

В конструкции вариатора обеспечивается большая сила сжатия половинок шківов для предотвращения проскальзывания цепи. Для этого используется или один гидронасос, или два гидронасоса с двухконтурной системой управления, как на рисунке 1. Силовой насос создает необходимое усилие сжатия полушківов, а насос управления обеспечивает перемещение шківов для изменения передаточного отношения. Он перекачивает масло

в небольших количествах от гидропривода одного шківа к другому, изменяя, таким образом, давление сжатия и, соответственно, взаимное положение полушківов ведущего и ведомого вала. Такая схема работы гидропривода обеспечивает снижение потерь энергии на перекачку большого количества масла и приводит к значительному увеличению скорости изменения передаточного числа.

Управление подвижными полушківками осуществляется синхронно, т.е. насколько один из подвижных полушківов отодвинулся от своего неподвижного конуса, настолько же второй подвижный полушків должен приблизиться к своему неподвижному полушківу.

Бустер управления каждого подвижного полушківки состоит из управляющей и компенсирующей полостей. В управляющую полость подается давление, с помощью которого осуществляется изменение положения подвижного полушківки. Компенсирующая полость необходима для уравновешивания дополнительного давления масла, возникающего в полости управления под действием центробежной силы. Поскольку обе полости постоянно заполнены маслом, вращаются с одной и той же угловой скоростью и имеют одинаковые радиальные размеры, то давление, возникающее под действием центробежных сил в полости управления, уравновешивается точно таким же давлением в компенсирующей полости.

Применение гидротрансформатора и промежуточных передач позволяет увеличить диапазон регулирования, в результате уменьшается диапазон регулирования вариатора и его геометрические размеры.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета

| Параметр | Ед. изм. | Численное значение |
|---|-------------------|----------------------------------|
| Максимальная частота вращения двигателя, n_{max} | мин ⁻¹ | 7000 |
| Передаточное отношение входной промежуточной передачи, $U_{\text{вхп}}$ | - | 1,11 |
| КПД входной промежуточной передачи, $\eta_{\text{вхп}}$ | - | 0,965 |
| Относительная потеря скорости передачи, ξ | - | 0,01 ... 0,02 - по рекоменд. [2] |
| Отношение минимального диаметра шківки к высоте цепи, θ | - | 3,8 ... 8,6 – по рекоменд. [4] |
| Угол между торцами призмы и шківками, φ | град | 10 ... 18 - по рекоменд. [4] |
| Момент на турбине гидротрансформатора, M_t | Нм | 771,3 |
| Шаг цепи вариатора, t_c | мм | 12,7 |

Расчеты проводятся по методике [4] в следующей последовательности:

1 Выбираются передаточные отношения вариатора: максимальное U_{max} и минимальное U_{min} . Исходя из данных по аналогам, принимаем

$$U_{max} = 2,46 \text{ и } U_{min} = 0,41.$$

2 Определяется диапазон регулирования вариатора

$$D = U_{max} / U_{min} = 2,46 / 0,41 = 6.$$

3 Рассчитываются минимальная и максимальная частоты вращения выходного вала вариатора

$$n_{2min} = n_{1max} / U_{max} = 6306 / 2,46 = 2490 \text{ мин}^{-1}$$

$$n_{2max} = n_{1max} / U_{min} = 6306 / 0,41 = 14941 \text{ мин}^{-1}.$$

При этом максимальная частота вращения ведущего шкива

$$n_{1max} = n_{емax} / U_{вхпл} = 7000 / 1,11 = 6306 \text{ мин}^{-1}.$$

4 Находятся отношения максимальных (D_1 и D_2) и минимальных (d_1 и d_2) диаметров шкивов

$$D_2 / d_1 = U_{max} (1-\xi)^2 = 2,46 (1-0,015)^2 = 2,39 \text{ и}$$

$$d_2 / D_1 = U_{min} (1-\xi)^2 = 0,41 (1-0,015)^2 = 0,4.$$

где ξ – относительная потеря скорости в вариаторе, принимаем 0,015.

Относительная потеря скорости приводит к снижению частоты вращения ведомого вала по сравнению с теоретическим значением, но на диапазон регулирования не влияет. Потеря скорости происходит из-за скольжения, обусловленного природой передачи трением, и так называемого кажущегося скольжения – изменения рабочих диаметров колес и передаточного отношения с изменением нагрузки. Последнее объясняется смещением рабочих колес или соединительных призм цепи вследствие деформации деталей передачи, смещением полюсов качения при перераспределении сил трения в контакте и другими причинами. Подобное изменение частоты вращения сопровождается обратно пропорциональным ему изменением крутящего момента и не влечет за собой потери мощности; однако оно искажает кинематическую характеристику вариатора.

5 Определяется относительная ширина цепи $v = b_p / h = 1,05[(D_2/d_1 - 1)\theta + 2h_1 / h] \text{tg}(\varphi/2) = 1,05[(2,39-1)5,3 + 2(5/9)] \text{tg}(14/2) = 1,09$,

где b_p – ширина цепи по нейтральной линии, h – высота сечения цепи, θ – отношение минимального диаметра (d) шкива к высоте цепи, h_1 – расстояние от нейтральной линии до нижнего основания сечения, φ – угол между торцами призмы и шкивами (канавка). Принимаем $\theta=5,3$ и $\varphi=14$ град.

6 Рассчитывается допустимое полезное напряжение [3]

$$[\sigma] = (20 - 4v)\theta/11 = (20 - 4*1,4)5,3/11 = 6,94 \text{ МПа}.$$

7 Находится минимальный диаметр ведущего шкива

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2M_{1max}\theta^2}{[\sigma]v}} = \sqrt[3]{\frac{2*578,92*5,33*5,33}{6,94*1,4}} = 70,1 \text{ мм}$$

где M_{1max} – максимальный крутящий момент на ведущем шкиве

$$(M_{1max} = M_{вх} \cdot U_{вхпл} \cdot \eta_{вхпл} = 0,7 * M_{вх} * 1,11 * 0,965 =$$

$$= 0,7 * 771,3 * 1,11 * 0,965 = 578,9 \text{ Нм}); M_{вх} – крутящий$$

момент на входе в вариатор; M_T – крутящий момент на турбине гидротрансформатора;

Θ_2 – отношение минимального диаметра ведомого шкива (d_2) к высоте цепи, по рекомендации [4] ($\Theta_2 = \theta \cdot U_{min} (U_{max} + 1) / (U_{min} + 1) = 5,3 * 0,41 (2,46 + 1) / (0,41 + 1) = 5,33$).

8 Определяются другие диаметры шкивов и действительный диапазон регулирования

$$D_1 = d_1 \cdot n_{2max} / [n_{1max} (1-\xi)] = 70,1 * 14941 / [6126 * (1-0,015)] = 176 \text{ мм}$$

$$D_2 = d_1 \cdot U_{max\theta} = 70,1 * 2,39 = 167,5 \text{ мм};$$

$$d_2 = D_1 \cdot U_{min\theta} = 176 * 0,4 = 67 \text{ мм};$$

$$D_{д} = D_1 \cdot D_2 / (d_1 \cdot d_2) = 176 * 167,5 / (70,1 * 67) = 6,3.$$

Сравниваем значение выбранного диапазона регулирования со значениями полученного фактического диапазона регулирования, несовпаде-

ние составляет: $\frac{6,3 - 6}{6,3} \cdot 100 = 0,05$.

9 Рассчитываются минимальные высота и ширина цепи

$$h_{min} = d_1 / \theta = 70,1 / 5,33 = 13,2 \text{ мм};$$

$$b_{min} = h_{min} \cdot \theta = 13,2 * 5,33 = 70,1 \text{ мм}.$$

Ширина цепи выбирается по передаваемому моменту, например, как рекомендует фирма Luk (рисунок 2). Определяются максимальные скорости цепи на ободах шкивов

$$V_{1max} = \pi D_1 \cdot n_{1max} / 60 = \pi * 0,176 * 6126 / 60 = 56,5 \text{ м/с}$$

$$V_{2max} = \pi D_2 \cdot n_{2max} / 60 = \pi * 0,1675 * 14941 / 60 = 131,04 \text{ м/с}.$$

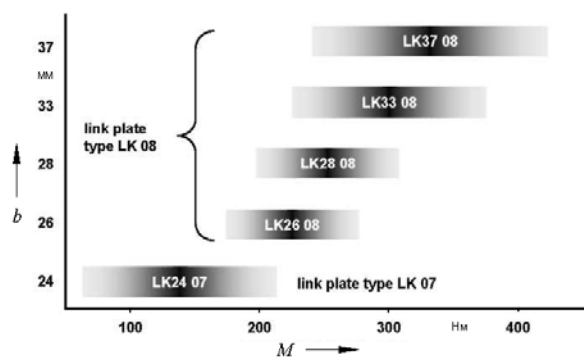


Рисунок 2 – К выбору ширины цепей b по передаваемому моменту M (рекомендации фирмы Luk)

Значительное снижение окружной скорости при работе на малых диаметрах ведущего колеса повышает при той же мощности передаваемое окружное усилие. Увеличение же скорости выше определенного предела вызывает вибрации цепи. Кроме этого, возрастают напряжения в цепи, и снижается ее тяговая способность. Предельные значения скорости зависят от типа и конструкции вариаторов.

10 Рассчитывается минимальное межосевое расстояние [1]

$$A = 2 R_{max} + B,$$

где R_{max} – максимальный радиус шкива; B – параметр, определяющий верхнюю границу шкива,

$$(B=0,36 h_{min} + (3...7\text{мм}) = 0,36*13,2 + 5 = 9,75 \text{ мм}).$$

$$A = 2*(176/2) + 9,75 = 185,75 \text{ мм}.$$

11 Находится длина цепи и число звеньев [5]
длина цепи

$$L_H = R_1(\pi + 2\gamma) + R_2(\pi - 2\gamma) + 2A \cos \gamma \quad (1)$$

где γ – угол наклона цепи

$$(\gamma = \arcsin[(R_1 - R_2)/A] = \arcsin[(176/2 - 67/2]).$$

Принято считать, что длина цепи определяется по линии центров ее шарниров. При этом цепь вариатора рассматривается как совокупность абсолютно жестких звеньев достаточно малых размеров, соединенных между собой подвижно, что соответствует гибкому в одной плоскости, недеформирующемуся элементу. Расчетная схема представлена на рисунке 3.

$$L_H = (176/2) (\pi + 2*0,289) + (67/2) (\pi - 2*0,289) + 2*185,75*0,958 = 616,72 \text{ мм}.$$

Число звеньев цепи

$$N_z = L_H / t_{\text{ц}},$$

где $t_{\text{ц}}$ – шаг цепи, равен 12,7 мм.

$$N_z = 616,72/12,7 = 48,6.$$

Принимаем $N_z = 49$.

12 Уточняются межосевое расстояние (A_y) и длина цепи (L_{Hy}). Следует учитывать рекомендуемое соотношение $A = (0,996...0,998)A_y$. Уточненная длина цепи $L_{\text{Hy}} = 49*12,7 = 622,3$ мм. Уточненное межосевое расстояние получаем из выражения (1) после подстановки скорректированной длины цепи.

13 Определяются внутренний диаметр шкива (dв) и зазор между полушкивами (Δ)

$$d_{\text{в}} = d - 2h_r \quad (2...5 \text{ мм}),$$

$$d_{\text{в}1} = 70,1 - 2*7 - 3 = 53,1 \text{ мм}; \quad d_{\text{в}2} = 67 - 2*7 - 3 = 50 \text{ мм}.$$

$$\Delta = b_{\text{рш}} - [(D-d) + 2h_r] \text{tg}(\varphi/2),$$

где $b_{\text{рш}}$ – длина штифта, контактирующего со шкивом.

$$\Delta_1 = 41 - [(176-70,1) + 2*7] \text{tg}(14/2) = 26 \text{ мм};$$

$$\Delta_2 = 41 - [(167,5-67) + 2*7] \text{tg}(14/2) = 27 \text{ мм}.$$

В передачах с постоянным положением обоих валов на величину фактического диапазона регулирования будет влиять отклонение по длине цепи и вытяжка ее в процессе работы. В случае использования в вариаторе металлической цепи для упрощения расчетов можно пренебречь этими явлениями. Компенсацию изменения длины цепи при регулировании можно достигнуть кинематическим способом или введением в механизм регулирующего корректирующего устройства, которое дает разное перемещение ведущих и ведомых шкивов (автоматическое слежение), а также силовым способом (введением пружин) за счет криволинейной формы шкивов.

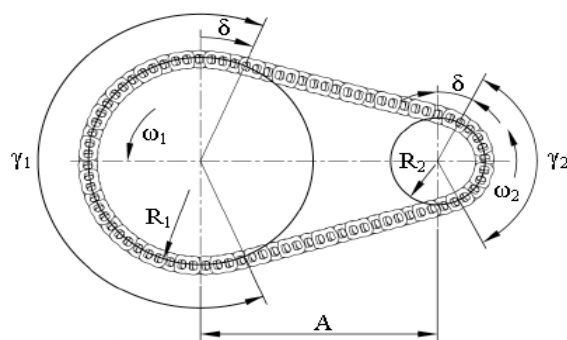


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения длины цепи

В конструкции коробки передач могут использоваться шкивы с варьируемым коэффициентом кривизны дуг образующих.

Согласно этому использование дуг образующих с варьируемым коэффициентом кривизны обеспечивает пониженное поперечное смещение во всем диапазоне передаточных чисел вариатора.

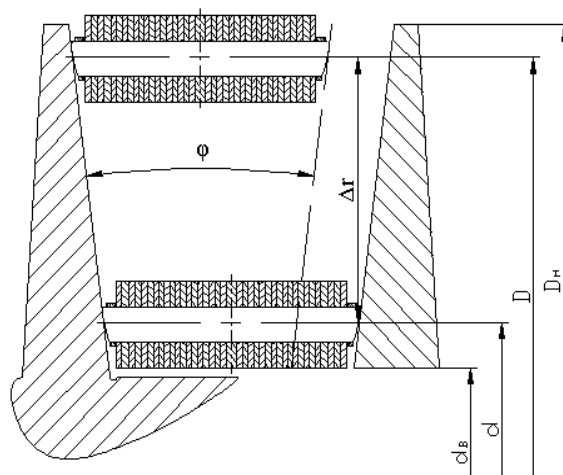


Рисунок 4 – Размеры шкива с несимметричным регулированием

14 Так как перемещается только один диск, то его осевое перемещение (рисунок 5) от одного крайнего положения до другого определится по формуле:

$$x = (D - d) \cdot \text{tg} \frac{\varphi}{2}.$$

Тогда:

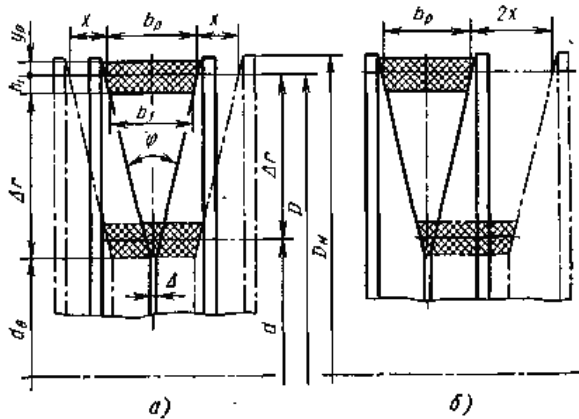
$$x_1 = (176 - 71) \cdot \text{tg} \frac{14}{2} = 12,24 \text{ мм};$$

$$x_2 = (170 - 70) \cdot \text{tg} \frac{14}{2} = 12,3 \text{ мм}.$$

Отличительной особенностью фрикционных вариаторов с тянущей цепью от ременных передач является наличие эффекта дискретного возбуждения. Колебательное движение вариаторной цепи отличается от её движения при распростра-

ненном допущении о подобии движения цепи движению гибкой нити. Частота входа шарниров в контакт f_t зависит от скорости движения гибкого элемента V и расстояния между соседними шарнирами l (шага цепи):

$$f_t = \frac{V}{l}.$$



а – два подвижных шкива, б – один подвижный шкив
Рисунок 5 – Схема перемещения дисков и ремня (цепи)

Периодичность импульсов сил реакции при входе штифтов в контакт является возмущающим механизмом. В том случае, если дискретная частота постоянна в некотором временном интервале, имеет место периодичность возмущений и возникают динамические нагрузки.

Шаг вариаторной цепи постоянен в традиционной конструкции цепи. При интенсивном разгоне или торможении автомобиля частота дискретного возмущения изменяется и, следовательно, периодичность входа штифтов в контакт нарушается. При менее динамичном движении, когда скорость движения гибкого элемента постоянна на достаточно длительных интервалах времени, величина частоты постоянна. Тогда возникает эффект дискретного возмущения.

Для внесения апериодичности в процесс возмущения в конструкции вариатора используется цепь с конструктивным чередованием шагов. К звеньям с ранее рассчитанным шагом добавляются звенья с более коротким и более длинным шагом.

В качестве проверочного расчета рассмотрим определение числа циклов перемены напряжений до разрушения цепи $Z_{эф}$ по методике [3]. Для расчета необходимо установить функциональную связь числа циклов напряжений до разрушения с действующими напряжениями. Из-за сложности учета всех переменных параметров работы цепи величина $Z_{эф}$ рассчитывается приближенно с введением коэффициента переменности нагрузки:

$$Z_{эф} = 380 \cdot \frac{n_1 \cdot T}{\xi_{пер} \cdot \xi_i} \cdot \frac{d_1}{L_H},$$

где ξ_i – коэффициент уменьшения влияния изгиба на больших шкивах (принимается $\xi_i = 1,5$);

$\xi_{пер}$ – коэффициент учета характера перемены нагрузки (принимается $\xi_{пер} = 2,1$, если считать для упрощения расчетов появление каждой нагрузки равновероятностным); T – ресурс цепи в часах (принимается $T = 30000$ ч).

Тогда:

$$Z_{эф} = 380 \cdot \frac{6126 \cdot 30000}{2.1 \cdot 1.5} \cdot \frac{70.1}{622.3} = 2.5 \cdot 10^9 \text{ циклов.}$$

Расчетное значение числа циклов проверяется на соответствие предъявляемым требованиям [3].

Список литературы

- 1 Готовцев А. А., Котенок И. П. Проектирование цепных передач : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1982. 336 с.
- 2 Курмаз Л. В., Скойбеда А. Т. Детали машин. Проектирование : учебное пособие. Минск : УП «Технопринт», 2005. 316 с.
- 3 Есипенко Я. И., Рубенштейн И. И. Цепные вариаторы. Киев : Техника, 1977. 149 с.
- 4 Пронин Б. А., Ревков Г. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. М. : Машиностроение, 1980. 320 с.
- 5 Yves Rothenbuhler. New slip synthesis and theoretical approach of CVT slip control. Suisse, 2009. 12 pp.
- 6 Каменсков В. Ю. Минимизация поперечного изгиба гибкого элемента во фрикционном клиноременном вариаторе // Известия высших учебных заведений. 2008. №11. С. 65-70.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК:502/504;574

*В.В. Масляков¹, Ю.Е. Барачевский²,
А.В. Савченко¹*

*¹Частное учреждение образовательная
организация высшего образования
«Саратовский Медицинский университет
«Реавиз»*

*²Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Северный
медицинский университет»*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ НАСЕЛЕНИЮ В РАЙОНЕ СОСРЕДОТОЧЕНИЯ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. В статье представлены результаты лечебно-эвакуационных и медико-профилактических мероприятий с населением, проживающим в районах сосредоточения химически опасных объектов, как при возникновении чрезвычайных ситуаций химического генеза, так и при функционировании их в штатном режиме повседневной деятельности, а также предложения по совершенствованию данных мероприятий.

Ключевые слова: медицинская помощь населению, опасные химические объекты.

*V.V. Maslyakov¹, Yu.E. Barachevskiy²,
A.V. Savchenko¹*

*¹ Private institution educational organization of
the higher education «Saratov Medical university
«Reaviz»*

*² Federal state-funded educational institution
of the higher education «Northern medical
university»*

ENHANCEMENT OF THE ORGANIZATION OF HEALTH CARE DELIVERY TO THE POPULATION OF THE AREA OF DANGEROUS CHEMICAL OBJECTS CONCENTRATION

Annotation. In the article are represented results of medical and evacuation and medico-preventive actions provided to the population living in areas of

chemically dangerous objects concentration as in case of emergency situations of chemical genesis, and in case of their functioning in the normal mode of daily activities, and also suggestions for their enhancement.

Keywords: universal health care delivery, dangerous chemical objects.

Введение. Одной из характерных особенностей современного периода является широкое применение различных видов токсичных соединений, используемых в химической индустрии и способных наносить ущерб здоровью людей, а в особых условиях формировать обширные зоны химического заражения (поражения).

На территории РФ функционирует более 4 тыс. химически опасных объектов (ХОО). Около 40 тыс. химических веществ (ХВ) выпускается большим тоннажем и широко используется в различных отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, в быту и в медицине; при этом более 100 из них обладают токсичностью, сопоставимой с токсичностью боевых отравляющих веществ. Только в Европе ежегодно производится более 0,5 млрд смертельных доз мышьяка, 5 млрд доз бария, 100 млрд доз аммиака, 10000 млрд доз хлора [1].

Аварии с выбросом токсикантов и с химическим заражением больших территорий происходят везде, где проживают люди. Не исключается и опасность химического терроризма [2].

Особую настороженность вызывают места компактного размещения большого числа ХОО, где вероятность возникновения химических катастроф с поражением значительного числа людей, нанесения территориям материального и экологического ущерба достаточно высока. Не исключается риск развития у населения токсического процесса и при штатной работе ХОО в виде развития стойкого аллобиоза (аллергизация, иммуносупрессия, астеническое состояние) или в виде формирования специальных патологических форм (химического мутагенеза, канцерогенеза, тератогенеза, нарушения репродуктивных функций и т.д.).

Одной из таких территорий является Саратовская область, где функционируют химический испытательный полигон, объект по уничтожению химического оружия и множество промышленно-хозяйственных предприятий с высокой химической составляющей.

Эти обстоятельства и послужили мотивом проведения настоящего исследования с целью оптимизации организационных, лечебно-эвакуационных и медико-профилактических мероприятий с населением, проживающим в районах со-

средоточения химически опасных объектов как при возникновении чрезвычайных ситуаций химического генеза, так и при функционировании их в штатном режиме повседневной деятельности, а также предложений по их совершенствованию.

Материалы и методы. Проведено сплошное аналитическое ретроспективное исследование первичной документации. Всего проанализировано: в Вольском онкологическом диспансере – сведения о больных злокачественными новообразованиями (форма 35) – (n=10); в медицинских организациях Саратовской области – сведения о медицинской организации (форма № 30) – (n=30), сведения о деятельности стационара (форма № 14) – (n=30); в военном госпитале г. Вольск-18: медицинские карты стационарных больных (n=4500), годовые и месячные планы работы госпиталя и его отдельных отделений (n=50), годовые отчеты (n=10); штаты медицинских подразделений воинских частей и учреждений (n=10); планирующие документы медицинских подразделений воинских частей и учреждений (n=50); в Главном управлении МЧС России по Саратовской области – паспорта территорий (n=10), материалы межведомственного учения по ликвидации последствий ЧС химической природы в Вольском районе; статистические сборники (всего 30). По отдельным запросам проанализированы отчёты предоставленные Министерством здравоохранения Саратовской области (n=20); Федеральным органом государственной статистики по Саратовской области (Саратовстатом) (n=20); открытым акционерным обществом «Трансаммиак» (n=2).

Использованы методы исследования: исторический, медико-географический, медико-демографический, компаративного анализа, статистический, математический и метод экспертных оценок.

Также оценены 4 методики расчета медико-санитарных последствий химических аварий, и проведено сравнение их результатов. В расчетах учитывались различные факторы: количество токсиканта, степень защищенности персонала и населения, метеоусловия.

Результаты и обсуждение. Исследование проводилось в несколько этапов. На первом – дана климатогеографическая и химико-экологическая характеристика Саратовской области и Вольского района. Установлено, что климат в Саратовской области неодинаков в различных ее районах, но в целом он благоприятен для проживания и не оказывает существенного влияния на здоровье населения.

Источники химической опасности Вольского района представлены промышленными предприятиями с запасом опасного химического вещества (ОХВ), специальными химическими объектами. По территории соседнего Воскресенского района проходит участок аммиакопровода Тольятти–Одесса. Плотное сосредоточение большого количества ХОО диктует необходимость совершенствования, как процессов лечебно-эвакуационного обеспече-

ния пострадавших в возможных ЧС на территории области, так и медико-профилактической работы среди населения в условиях повседневной штатной деятельности этих объектов.

На втором этапе проведен анализ медицинских организаций. Установлено, что на территории повышенной плотности ХОО имеются медицинские организации различных министерств и ведомств. Прежде всего, это гарнизонный госпиталь на 300 коек и другие подразделения Минобороны России, медсанчасть ФМБА и ряд медицинских организаций Минздрава России.

Госпиталь Минобороны России является единственной в области медицинской организацией специализированной медицинской токсикологической помощи. Для лечения отравленных в этом госпитале (г. Вольск-18) созданы запасы антидотов, готовится к работе в химическом очаге 21 врачебно-сестринская бригада. Их персонал, имея базовую токсикологическую подготовку, владеет приемами оказания неотложной медицинской помощи при острых отравлениях и поражениях ОХВ, специфичными для территории. В госпитале помимо стационарного токсикологического отделения функционируют и два мобильных токсикологических отделения для оказания медицинской помощи пораженным на внешней границе очага. В повседневной деятельности персонал токсикологических отделений усиливает стационарное токсикологическое отделение госпиталя, оказывает методическую помощь врачам гарнизона по вопросам общей и военной токсикологии.

Штат мобильного токсикологического отделения представлен начальником отделения (врач-токсиколог), фельдшером, водителем-санитаром с санитарным автомобилем УАЗ-469. Отделение оснащено укладкой медицинского имущества токсикологической направленности, средствами индивидуальной защиты (СИЗ) изолирующего типа. Имеются оборудование и средства дегазации, с помощью которых водитель-санитар при необходимости способен оборудовать площадку специальной обработки.

На случай массового поступления пострадавших с острой химической травмой во дворе госпиталя создается площадка специальной обработки для проведения санитарной обработки пострадавших, дегазации обуви, одежды, средств защиты, транспорта, прочих предметов и объектов. Всего госпиталь может принять до 200 пораженных ОХВ. Время готовности госпиталя к приёму пораженных с химической патологией составляет 40-60 минут, а полной готовности к перепрофилированию – 1-2 часа.

Таким образом, анализ сил и средств СМК Саратовской области с высокой концентрацией ХОО показал, что при возникновении ЧС химического характера имеются вполне достаточные медицинские силы и средства для ликвидации масштабных медико-санитарных последствий химических ЧС.

На третьем этапе исследования проводился анализ возможных медико-санитарных последствий ЧС химической природы с использованием ранее указанных методик. В частности, результаты проиллюстрируем прогнозируемой химической аварией на предприятии пищевой промышленности в г. Вольске – закрытое акционерное общество «К». Площадь этого ХОО 10 км², численность персонала – 750 человек. На объекте находятся 2 цистерны с аммиаком по 50 т каждая. Персонал обеспечен СИЗ.

На этапе прогнозирования рассчитаны параметры химического заражения по методикам 2-4 (таблица 1).

Таблица 1 – Глубина и площадь химического заражения при прогнозировании аварии на промышленном предприятии ЗАО «К» г. Вольск

| Исследуемые показатели | Исследуемая методика | | |
|---|----------------------|---------------------|----------------------|
| | методика № 2 | методика № 3 | методика № 4 |
| Глубина зоны химического заражения с токсодозами, вызывающими поражения людей | | | |
| Смертельные | 15 км | 1 км | 0,5 км |
| Тяжёлой степени | | 2,4 км | 0,8 км |
| Среднетяжёлые | | | 1 км |
| Легкой степени | | | 1,7 км |
| Пороговые | | | 4,3 км |
| Площадь зоны химического заражения с токсодозами, вызывающими поражения людей | | | |
| Смертельные | 6,75 км ² | 0,1 км ² | 0,01 км ² |
| Тяжёлой степени | | 0,6 км ² | 0,02 км ² |
| Среднетяжёлые | | | 0,04 км ² |
| Легкой степени | | | 0,10 км ² |
| Пороговые | | | 0,52 км ² |

Проведённые расчёты глубины и площади зон химического заражения показывают, что эти параметры с использованием методик № 3 и 4 практически совпадают, а по методике № 2 – значительно превышают предыдущие. Кроме того, согласно расчётам, по методикам № 3 и 4 в зону химического заражения попадает только персонал ХОО, а по методике № 2 – помимо персонала ХОО и население, которое в преимущественном большинстве не обеспечено СИЗ. Значит, методика № 4 может быть применима для прогнозирования как медико-санитарных, так и социально-экономических последствий.

Суммарно расчётное число поражённых и их распределение по тяжести представлено в таблице 2.

Выявлено, что согласно методике № 4 получена более подробная структура санитарных потерь, что придает ей привлекательность для планирования ЛЭМ.

Потребность в силах службы медицинских катастроф (СМК) (в персонале, сведенном в бригады), необходимых для ликвидации медицинских последствий химических аварий представлена в таблице 3. При этом более точная прогнозная ин-

формация получена по методике № 4.

Таблица 2 – Количество пораженных ОХВ и их распределение по степеням тяжести при прогнозировании химической аварии на промышленном предприятии ЗАО «К» в г. Вольске

| Исследуемые показатели | Исследуемая методика | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | методика № 1 | методика №2 | методика №3 | методика №4 |
| Кол-во поражённых, в том числе: | 75 чел. | 180 чел. | 51 чел. | 42 чел. |
| Смертельные | 26 чел. | – | 8 чел. | 6 чел. |
| Тяжёлой степени | 30 чел. | – | 43 чел. | 4 чел. |
| Среднетяжёлые | | – | | 4 чел. |
| Легкой степени | | – | | 18 чел. |
| Пороговые | 19 чел. | – | | 10 чел. |

Таблица 3 – Расчёт сил СМК для ликвидации медико-санитарных последствий химической аварии на промышленном предприятии ЗАО «К» г. Вольска

| Виды сил и средств СМК | Расчёт сил и средств СМК | |
|---|--------------------------|------------|
| | методика 1 | методика 4 |
| Спасательные формирования территории | 18 | 2 |
| Врачебно-сестринские бригады | 2 | 2 |
| Бригады экстренного реагирования ЦМК | 4 | – |
| Бригады специализированной медицинской помощи | – | 4 |

Таким образом, методика 4 в отличие от других позволяет получить все необходимые сведения для организации мероприятий по ликвидации медицинских последствий ЧС химического характера: площадь зоны заражения (поражения), количество поражённых и количество необходимых сил и средств СМК. Применение иных методик не позволяет получить совокупные сведения.

На сегодняшний день, согласно схеме проведения лечебно-эвакуационных мероприятий (ЛЭМ), в Саратовской области поражённые в химических ЧС, получив первую помощь в очаге ЧС, эвакуируются для дальнейшего оказания медицинской помощи и лечения в ближайшие медицинские организации государственного здравоохранения с последующим при необходимости переводом для продолжения лечения и реабилитации в стационары областного центра. Недостатком этой схемы ЛЭМ является непривлечение к ликвидации медицинских последствий ЧС химической природы ведомственных медицинских структур.

Исходя из этого постулата, нами предложена схема ЛЭМ в ЧС химического генеза, сущность которой заключается в том, что на внешнюю границу очага химического поражения наряду с экстренными силами территориальной СМК выдвигаются мобильные токсикологические отделения

специализированного военного госпиталя для оказания токсикологической помощи. При осуществлении эвакуации в медицинские организации следует учитывать, что наиболее сложных поражённых необходимо направлять в военный госпиталь г. Вольск-18, а медицинские организации гражданского здравоохранения использовать для перевода больных из военного госпиталя для продолжения лечения болезней, не связанных с химической патологией.

Предлагаемый вариант осуществления ЛЭМ в ЧС химического характера с комплексным использованием сил и средств государственного и ведомственного здравоохранения обеспечивает эффективную ликвидацию медицинских последствий химических катастроф в нормативные сроки для максимального числа поражённых ОХВ.

В целях эффективной подготовки медицинского персонала к сложным действиям в очаге химических аварий и катастроф нами с соавторами разработана компьютерная программа «Прогнозирование медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций химической природы», на которую получено свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации от 31.07.2014 г. № 2014617736.

Эта программа позволяет быстро провести расчет величины и структуры санитарных потерь при химических авариях как среди персонала ХОО, так и среди населения, проживающего в непосредственной близости от этого объекта. Основной интерфейс программы приведен на рисунке 1. В левой части таблицы вводят исходные данные: наименование токсиканта, его количество (тонны), плотность персонала объекта или населенного пункта (принимается равномерной), удаленность населенного пункта от эпицентра аварии (от места расположения ХОО). После нажатия кнопки «обновить расчет» в правой части таблицы высвечиваются результаты вычислений.

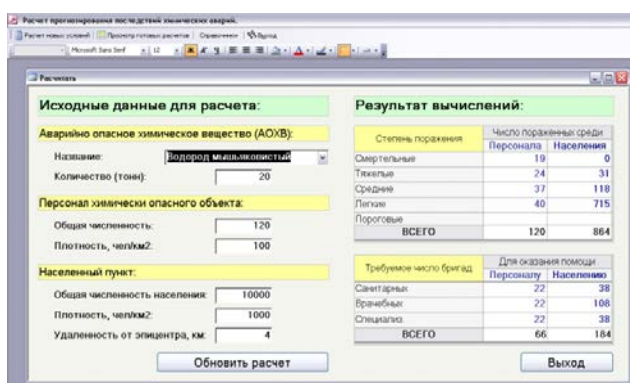


Рисунок 1 – Интерфейс программы для ввода исходных данных

Еще на этапе прогнозирования последствий химических аварий необходимо не только планировать состав и количество врачебно-сестринских бригад, но и создавать запасы медицинского имущества.

Нами проанализированы руководящие документы:

- Стандарты медико-санитарного обеспечения химических аварий (ВЦМК «Защита», 1998);
- Указания по военной токсикологии (ГВМУ МО РФ, 2000);
- Инструкция по клинике, диагностике и лечению поражений отравляющими веществами на объектах по уничтожению химического оружия (ФМБА России, 2010);
- Формуляр лекарственных средств медицинской службы Вооружённых сил Российской Федерации (ГВМУ МО РФ, 2014).

При анализе этих документов был составлен перечень медикаментов (по номенклатуре и количеству) в укладках для оказания медицинской помощи на внешней границе очага химического поражения, распределенный по степеням тяжести пострадавших. Перечень токсикантов был взят из расчёта: токсиканты первоочередного списка и боевые отравляющие вещества. Этот перечень, как показывают результаты исследования, перекрывает все возможные варианты для различных регионов РФ, в том числе изучаемый нами район сосредоточения ХОО. Исследование было дополнено методом экспертных оценок. Таким образом, нами разработана оригинальная компьютерная программа «Автоматизированная методика расчета запасов лекарственных средств для ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций химической природы». На программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615901, выданное 05.06.2014 г. Федеральной службой по интеллектуальной собственности. Экранный вид программы на рисунке 2.

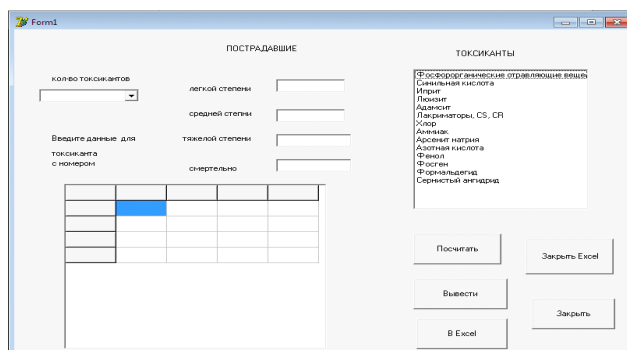


Рисунок 2 – Экранная форма программы

Предложенная оригинальная программа может быть использована для:

- заблаговременного создания запаса медикаментов с целью оказания медицинской помощи пострадавшим на внешней границе очага химического поражения;
- оснащения укладок штатных и нештатных формирований СМК, создаваемых в медицинских организациях различной ведомственной принадлежности с целью выполнения работ в очаге химического поражения.

Население районов сосредоточения ХОО и в повседневной деятельности подвергается воздействию токсикантов. Заболеваемость населения Вольского района всеми классами заболеваний в 2010-2014 годы возрастает ($p < 0,05$). Заболеваемость населения Вольского района злокачественными новообразованиями кожи занимает первое место и превышает аналогичный показатель по Саратовской области. Естественная убыль населения по Вольскому району на протяжении 2010-2014 годов в 4 раза больше, чем в среднем по РФ, и в 1,5 раза, чем по Саратовской области.

Представляет интерес сравнение заболеваемости населения Вольского района с заболеваемостью населения соседнего Хвалынского района. На территории Хвалынского района отсутствуют промышленные предприятия, находится один из крупнейших в РФ охраняемый лесной заповедник, множество здравниц, горнолыжный курорт.

Заболеваемость населения Вольского района превышает таковую в Хвалынском районе: по болезням органов дыхания в 1,2 раза ($p < 0,05$), по болезням мочеполовой системы в 1,7 раза ($p < 0,05$).

Таким образом, проведенное исследование показывает важность прогнозирования медико-санитарных последствий чрезвычайной ситуации химической природы и вариантов оказания медицинской помощи в районе сосредоточения химически опасных объектов.

ВЫВОДЫ

1 В Саратовской области сконцентрировано значительное количество химически-опасных объектов промышленного, в том числе военно-промышленного, и социального предназначения, способных загрязнять составные элементы биосферы (воздух, вода, почва), а также:

а) приводить в случае возникновения на этих объектах масштабных аварий к возникновению высокотоксичных очагов химического поражения, как стойких и нестойких, быстродействующих и замедленного действия, так и комбинированных, сочетающих в себе названные характеристики, сопровождающиеся массовыми человеческими жертвами и значительным числом пострадавших, нуждающихся в экстренной медицинской помощи.

б) обуславливать при их повседневном функционировании в штатном режиме воздействие опасных химических веществ в субтоксических концентрациях на персонал химических объектов и проживающее вблизи население. Это обстоятельство способствует развитию у персонала и населения разнovidных патологических процессов, влияющих на качество их жизни и долголетие, обострению хронической соматической патологии и изменению генетического кода у потомков лиц, работающих на химически опасных предприятиях.

2 При возникновении масштабных катастроф на территориях Саратовской области с концен-

трированным размещением химически опасных объектов количество одновременно появляющихся пораженных с различной тяжестью острых интоксикаций опасными химическими веществами, требующих оказания экстренной медицинской помощи, может составить 300-350 человек.

3 Успешно справиться с масштабными медико-санитарными последствиями в очагах химического поражения только силами государственного здравоохранения проблематично. Своевременность и эффективность проведения лечебно-эвакуационных мероприятий максимальному числу пораженных в чрезвычайных ситуациях химического характера могут быть достигнуты путем:

а) создания и постоянного совершенствования системы организации управления и взаимодействия служб медицины катастроф различных ведомств, функционирующих на территории пострадавшего субъекта России. Основой этой системы являются совместно разработанные, утверждённые и отработанные на различных видах тренировок и учений алгоритмы действий, включенные в частный план ликвидации медико-санитарных последствий химических катастроф как составного элемента Плана медико-санитарного обеспечения населения в чрезвычайных ситуациях;

б) делегирования руководителем государственного здравоохранения управленческих функций по ликвидации медико-санитарных последствий в чрезвычайных ситуациях химической природы на территории Саратовской области начальнику военного специализированного токсикологического госпиталя г. Вольск-18. Он, как компетентный руководитель в сфере химической безопасности, имеющий профессионально подготовленные токсикологические силы и средства, способные в минимальный срок приблизить специализированную медицинскую помощь к очагу поражения, готов принимать грамотные управленческие решения в части медикосанитарного обеспечения массового числа пораженных опасными химическими веществами. При этом общее руководство и контроль по ликвидации медико-санитарных последствий сохраняются за начальником службы медицины территории – министром здравоохранения Саратовской области.

4 Установлена сильная или умеренная прямая корреляция химического загрязнения воздуха, воды, почвы и развития у населения Вольского района многочисленных заболеваний, прежде всего, органов дыхания и кровообращения, кожных покровов, эндокринной, пищеварительной, мочеполовой и костно-мышечной систем и метаболических нарушений. При этом выявлено, что заболеваемость населения района с концентрацией химически опасных объектов превышает заболеваемость населения экологически чистого Хвалынского района по болезням органов дыхания в 1,2 раза, а по болезням мочеполовой систе-

мы в 1,7 раза. Прогнозируется и дальнейший рост этой заболеваемости.

Первичная онкологическая заболеваемость населения Вольского района в целом превосходит таковую в Российской Федерации в 1,2 раза, а первичная заболеваемость раком кожи у населения Вольского района в 1,2 раза больше, нежели в целом по Саратовской области.

Естественная убыль населения Вольского района за годы исследования превысила в 4 раза средний уровень по Российской Федерации и в 1,5 раза – по Саратовской области.

5 Население, проживающее в районах сосредоточения химически опасных объектов на территории Саратовской области, находится в группе риска по большинству классов заболеваний. Это диктует необходимость:

а) совершенствования организации проведения медико-профилактических мероприятий, предусматривающей не только ведение контроля за содержанием опасных химических веществ в различных средах биосферы, но и информирование населения, привитие ему основ токсикологических, гигиенических, экологических знаний и умений с целью обеспечения химической безопасности на конкретной территории;

б) снижения риска возникновения заболеваний у населения, проживающего на территориях, находящихся под прессом агрессивной химической среды, что может быть достигнуто путем проведения диспансерных динамических наблюдений с периодичностью не реже 1 раза в 5 лет с привлечением к этому мероприятию врачей-токсикологов. Эта позиция должна быть закреплена нормативными правовыми актами Правительства России или Минздрава России.

Список литературы

1 Гребенюк А. Н. Вопросы токсикологии в подготовке и практической деятельности военных врачей // Токсикологический вестник. 2011. № 6. С. 7-13.

2 Уроки применения химического оружия в первую мировую войну для современной военной медицины / А. Н. Бельских, В. А. Башарин, С. В. Чепур, Ю. Ш. Халимов [и др.] // Военно-медицинский журнал. 2015. № 8. С. 11-16

УДК 656.11

А.А. Кустенко
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ В ТРАМВАЙНОМ ДВИЖЕНИИ

Аннотация. В статье описан анализ аварийности трамвайного движения, показаны основные причины аварий с участием трамвая и предложены пути снижения аварийности.

Ключевые слова: трамвайное движение, дорожно-транспортное происшествие (ДТП), анализ аварийности, причины аварий.

A.A. Kustenko
Belarusian National Technical University

INVESTIGATION OF THE TRAM SERVICE ROAD ACCIDENTS

Annotation. The article describes the analysis of the tram service road accidents. We show principal causes of accidents with a tram participation and offer ways of decrease in the road accidents.

Keywords: tram service, road traffic accident, accident analysis, causes of accidents.

Введение

Под аварийными понимают все потери от аварий любых видов и любой тяжести последствий, а также судебные и иные издержки, связанные с авариями. В аварийных потерях в отличие от экономических и экологических ущерб наносится, в первую очередь, отдельным участникам движения – для них именно эти потери во много раз важнее, чем другие виды потерь. В то же время отношение общества к аварийным потерям легко определяется по результатам, по уровню аварийности, т.е. по тому, что оно делает для снижения этих (и других) потерь, а не по тому, что оно заявляет по этому поводу.

Анализ аварийности

Анализ аварийности является составной частью работ по оценке качества дорожного движения и основой для разработки мер по повышению безопасности движения. Можно выделить три основных уровня анализа аварийности: государственный, ведомственный и инженерный.

На *государственном уровне*, где решаются стратегические задачи, от анализа требуются укрупненные показатели – общий уровень аварийности, тяжесть последствий, динамика, тенденции. Исходя из этого корректируются нормативы,

методы и структура управления, финансовая политика и т.д.

На *ведомственном уровне* решаются свои специфические задачи. Скажем, транспортников больше интересуют те стороны аварийности, которые связаны с повышением квалификации и с режимом труда водителей, неисправностью транспортных средств и т.д. Дорожников больше интересуют аварии, связанные с состоянием дорог и их обустройством, а правоохранительные органы – с профилактикой правонарушений и т.д.

На *инженерном уровне* решаются организационно-технические задачи, связанные с аварийностью в данной ограниченной местности, в отдельных очагах или на предприятиях.

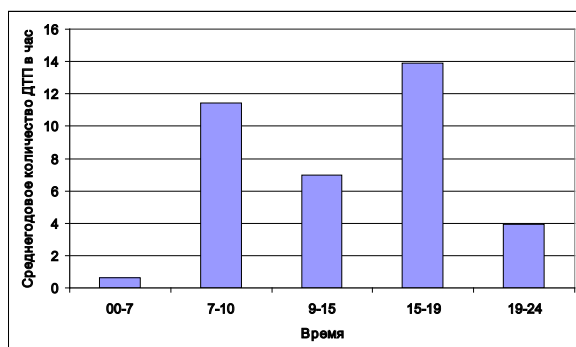


Рисунок 1 – Распределение ДТП во времени

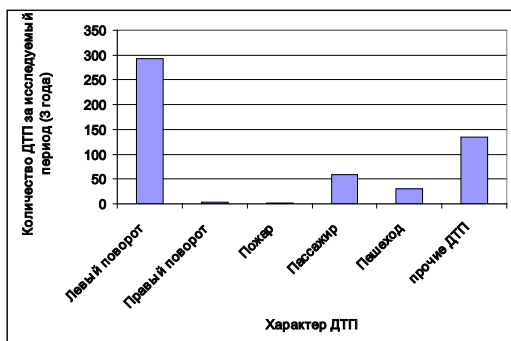


Рисунок 2 – Распределение ДТП по способу совершения

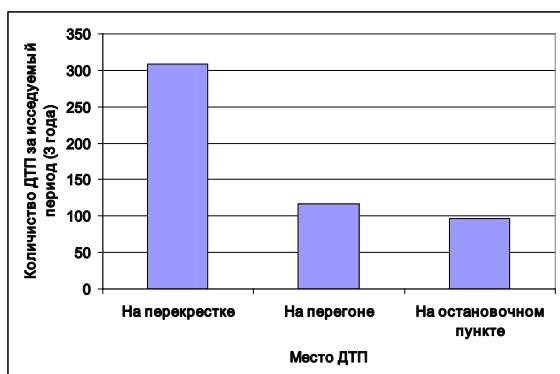


Рисунок 3 – Распределение ДТП по месту совершения

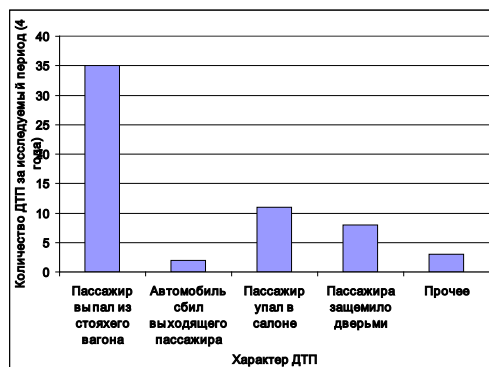


Рисунок 4 – Распределение происшествий с пассажирами по способу их совершения

Различают 4 вида анализа аварийности:

– количественный, который отвечает на вопросы «что?», «где?», «когда?», показывает динамику аварийности и т.д. На рисунках 1,2,3,4 изображено количественное распределение ДТП с участием трамвая.

– качественный, который отвечает на вопросы «почему?», «по какой причине?». Различают 4 основных блока причин: водитель, пешеход, транспортное средство, дорожные условия. Следует заметить, что на одну аварию приходится несколько причин (по некоторым данным – до 2,5) и установление причин, выполняемое, как правило, работниками ГАИ, – дело чрезвычайно субъективное, подверженное моде, воле руководства, степени компетентности данного работника и т.д. Одно время, еще до широкого внедрения радарных измерителей скорости, свыше 70% всех аварий совершались по причине «превышения скорости». Рассуждали очень просто: виноват водитель – если бы скорость была меньшей, не было бы аварии. Затем после соответствующих указаний число аварий по причине «превышения скорости» за один год упало с 70% до 13% – примерно эта величина фигурирует и сейчас. По той же причине резко подскакивала «виновность» дорожных условий. До сих пор среди специалистов в мире нет единства по вопросу «виновности» дороги – одни считают ее причиной до 70% аварий, другие – в десять раз меньше!

– топографический, который отвечает на вопрос: где на местности совершаются аварии.

– очаговый, который является разновидностью топографического и заключается в нанесении возможно большего количества информации об аварийности на масштабной схеме элементарного участка с последующим всесторонним исследованием этой информации. На рисунке 5 показан фрагмент очагового анализа – схема перекрестка с нанесенными данными об аварийности. Стрелками показаны траектории движения транспортных средств и пешеходов (пунктирные стрелки), крестик – место совершения аварии, кружок указывает номер аварии, виновность участника и тяжесть последствий (полностью заштрихован – гибель, наполовину – ранение, не заштрихован – материаль-

ный ущерб). В спецификации указывается время аварии, характерные причины, тип транспортного средства и другая интересующая информация. Исследование очагов аварийности позволяет найти наиболее вероятные причины аварийности и, устранив их, резко уменьшить количество аварий и тяжесть последствий.

Очаговый анализ аварийности на инженерном уровне имеет решающее значение – он приводит к довольно быстрым и конкретным результатам, тем более, если учитывать, что около 70% всех аварий совершается в очагах (так называемая очаговая аварийность) и только 30% – на остальной части улично-дорожной сети (так называемая фоновая аварийность). В качестве очага аварийности принято считать конфликтный объект (перекресток, пешеходный переход, зона остановочного пункта общественного транспорта и т.д.) или небольшой (до 1 км) участок дороги, например, поворот, сужение, ухудшение видимости и т.д., где ежегодно происходит не менее трех аварий. Разумеется, невозможно построить улично-дорожную сеть без очагов аварийности, однако их количество и «мощность» (производительность) очень сильно зависит от компетентности, ответственности и заинтересованности проектировщиков, дорожников и организаторов движения. Очаговая аварийность в определенном смысле отвечает на вопрос: где происходит отказ в работе системы «водитель – автомобиль – дорога – среда», где уровень опасности превышает некие допустимые нормы. Фоновая аварийность в большей мере отвечает на вопрос: когда происходит отказ, как часто он происходит, какова наработка (пробег) на отказ. Фоновые аварии с равной вероятностью могут произойти в любое время, на любом участке улично-дорожной сети. Скажем, отказ тормозов, рулевого управления, разрыв шины, столкновение в тумане, занос на обледенелой дороге и т.д. могут быть «подготовлены» заранее и произойти в любой момент. Фоновые аварии, как представляется, больше характеризуют общий уровень автомобилизации в стране, и бороться с ними значительно труднее, хотя, конечно, можно и нужно.

Проанализировав статистику аварий с участием трамвая, можно сделать вывод относительно наиболее частых случаев ДТП. В районе регулируемого перекрестка различают два вида конфликта: межфазный и внутрифазный. Межфазный конфликт имеет место при смене сигнала светофора. При этом конфликт трамвая с легковым автомобилем не представляет особой опасности, так как трамвай имеет достаточно низкую динамику разгона по сравнению с легковым автомобилем и, соответственно, легковые автомобили успевают закончить проезд перекрестка до момента выезда на перекресток трамвая. Внутрифазный конфликт – это, как правило, конфликт с левоповоротным транспортом или автомобилем, пытавшимся опередить трамвай по трамвайному полотну для более выгодного поворота на лево (как видно из рисунка 3).

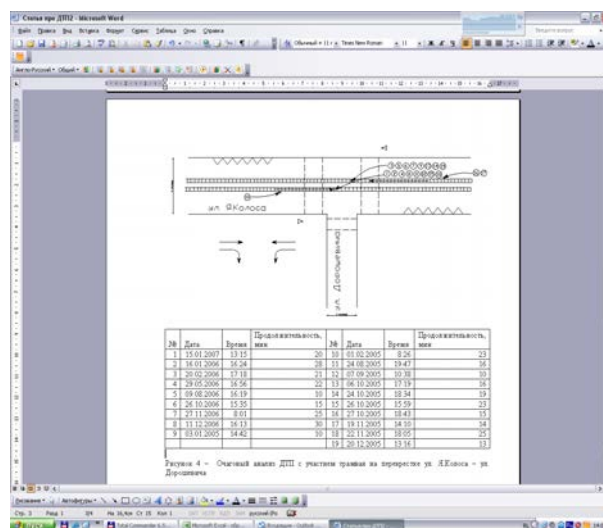


Рисунок 5 – Очаговый анализ ДТП с участием трамвая на перекрестке ул. Я.Колоса – ул. Дорошевича

Решение подобной ситуации очень хорошо реализовано на оживленных перекрестках с участием трамвайного движения в г. Витебске. Для этого используют дополнительные светофоры для трамвая и дополнительную стрелку светофора для пропуска левоповоротного потока.

Порядка половины всех происшествий с пассажирами случается при входе (выходе) из трамвая. Половина из них происходит с пьяными и пожилыми пассажирами, остальные – по разным причинам, но все они связаны с высокими и узкими ступенями, а также с отсутствием поручней, обеспечивающих удобную посадку (высадку) пассажиров (рисунок 5).

Для снижения травматизма и обеспечения удобства при посадке (высадке) во всем мире используют низкопольные трамваи или трамваи с низкопольными вставками. В г. Минске эксплуатируется только один трамвай с низкопольными вставками АКСМ-743 производства предприятия «Белкамунмаш».

Также не мало важен ущерб, причиненный задержками трамвайного движения, вызванными ДТП. За исследуемый период (3 года) трамвайное движение было задержано на 9691 часа. Если брать во внимание, что стоимость одного часа работы трамвая составляет 18 у.е., то общая сумма потерь составит 174438 у.е. При этом здесь приведены только приблизительные потери, учитывающие задержки только одного трамвая и не учитывающие потери времени пассажирами.

Вывод. За исследуемый период (3 года) с участием трамвая в г. Минске произошло 523 дорожно-транспортных происшествия, в которых пострадало 26 человек, из них 5 смертных случаев. В основном во всех происшествиях виновны пострадавшие или третьи лица. Большинство аварий (293) случилось с левоповоротным транспортом, в этом случае ДТП носят легкий характер, так как трамвай имеет низкую скорость и большую массу, тем самым выталкивая легковой автомо-

бил со своего пути. Основные пострадавшие от трамвайного движения – пешеходы и пассажиры (из пяти погибших четыре пешехода), которые не учитывают особенности трамвая (трамвай имеет достаточно большой тормозной путь и относительно бесшумность по сравнению с автомобильным потоком) и расположения трамвайных остановок.

Список литературы

1 Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении. Минск : БНТУ, 2003. 377 с.

2 СНиП 2.05.09-90 «Трамвайные и троллейбусные линии»

3 О новых нормах проектирования трамвайных и троллейбусных линий // Бюл. строит. техники, 1976. № 7. С. 24

4 СНиП II 41-76 Электрофицированный городской транспорт. // Трамвайные и троллейбусные пути. М., 1977

5 Томилин А. И. Организация движения трамвая и троллейбуса. М. : Стройиздат, 1969. 240 с.

УДК 656.11

А.А. Кустенко
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ В ТРАМВАЙНОМ ДВИЖЕНИИ

Аннотация. В этой статье описываются проведенные исследования влияния трамваев на уровень шума и вибрации, проведен анализ показаний шума и вибрации для разных типов трамвайных вагонов при разных скоростях и для разных способов укладки рельс.

Ключевые слова: Трамвайное движение, экологические потери, шум, вибрация, электромагнитное излучение, вредные выбросы в атмосферу

А.А. Kustenکو
Belarusian National Technical University

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NOISE AND VIBRATION IN THE TRAM SERVICE

Annotation. The article describes the investigations of the tram influence on the noise and vibration level. We conduct analyses of noise and vibration readings of different tram-cars in different speed levels and different techniques of rail-laying work.

Key words: tram service, ecological losses, noise, vibration, electromagnetic radiation, hazardous air pollutants.

Влияние трамвайного движения на экологию города выражено в повышенном уровне шума и вибрации. Шум и вибрация в настоящее время –

наиболее важные причины сокращения качества городской жизни. Это подтверждается возрастающей частотой жалоб городских жителей, работающих в зоне расположения транспортных коридоров, по которым движутся грузовые автомобили и трамваи. Вредное воздействие шума на человека проявляется в потере слуха и многочисленных видах психических расстройств, которые имеют свойство накапливаться. Воздействие вибрации на человека проявляется в заболеваниях опорно-двигательного аппарата, психических и сердечно-сосудистых заболеваниях, смещении внутренних органов, например, опущении желудка и т.д. Воздействие вибрации на здания и сооружения проявляется в появлении и разрастании трещин, приводящих к серьезным разрушениям. Особенно страдают старинные здания, представляющие собой историческую ценность и часто расположенные в кварталах средневековой застройки с очень узкими улицами.

Зависимость шума и вибрации от типа трамвайного вагона. Рассматривалось прохождение трамваев двух типов по одинаковому участку.

На сегодняшний день в городе Минске протяженность маршрутной сети трамваев составляет 188 км, при этом на линию в будни дни выходят более 110 трамваев, а в выходные – более 50 трамваев. На момент проведения замеров в трамвайном парке было 6 типов трамвайных вагонов, более 85% из них составляют вагоны, построенные на Рижском вагоностроительном заводе (РВЗ) и современные вагоны отечественного производства (АКСМ).

Замеры производились внутри трамвая в районе первой тележки в стационарном положении с включенным двигателем и на скоростях в 10 км/ч и 45 км/ч. Средние значения замеров указаны на рисунке 1.

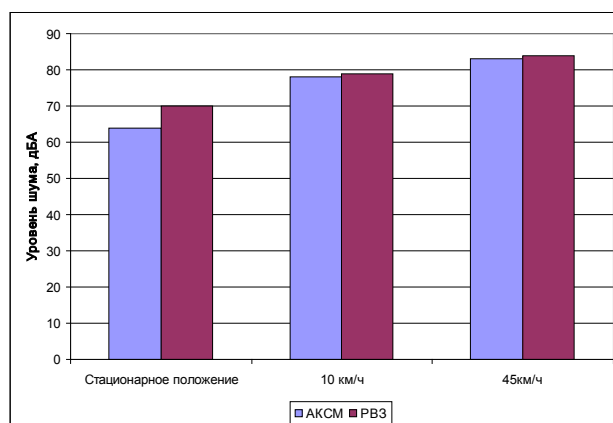


Рисунок 1 – Средние результаты замера уровня шума

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что в стационарном положении с включенными двигателями трамвая АКСМ имеет лучшую звукоизоляцию по сравнению с трамваем РВЗ. Однако уже при скорости 10 км/ч это преимущество нивелируется благодаря появлению до-

полнительного фактора, вызывающего шум – технического состояния и конструкции трамвайных путей. Если сравнить полученные результаты с допустимым уровнем шума в 80 дБА, установленным согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002, то значение превышает допустимое на 3-4 дБА при скорости 45 км/ч для обоих типов трамвая.

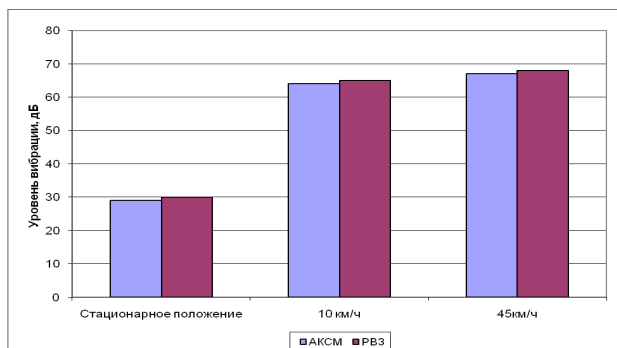


Рисунок 2 – Средние результаты замера уровня вибрации

Рассмотрев полученные значения вибрации (рисунок 2), можно сделать вывод, что независимо от скорости уровень вибрации для обоих типов трамвайных вагонов изменяется равномерно, отличаясь друг от друга на 1 дБ. Если сравнить полученные результаты с допустимым значением в 65 дБ, установленным согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-33-2002, то уровень вибрации превышает допустимое значение на 2-3 дБ при скорости 45 км/ч для обоих типов трамвая.

Зависимость шума от состояния поверхности рельс. Геометрические неровности на поверхности рельс вызваны перегрузкой путей, что негативно влияет на трамвайный вагон, сокращает комфорт пассажиров и увеличивает уровень шума. Для того, чтобы установить влияние неровностей на поверхности рельс на уровня шума, сначала проводились измерения на полотне, с гладкой поверхностью и затем на полотне с неровностями на поверхности рельс (замеры проводились на расстоянии 2 м от трамвайного полотна). Вертикальные неровности поверхности рельс изменялись от 1,0 до 2, 3 мм. Средние значения максимальных уровней шума, зависящих от геометрии поверхности рельс, показаны на рисунке 3.

Сравнение средних значений максимальных уровней шума, возникающих при прохождении трамвая по неровностям, вызывает увеличение уровня шума до 6 дБА.

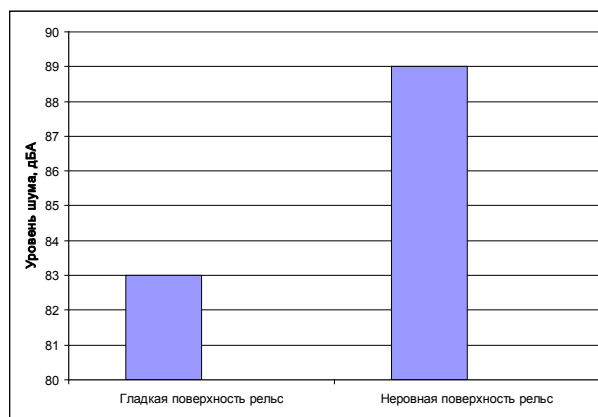


Рисунок 3 – Среднее значение уровня шума в зависимости от состояния поверхности рельс

Зависимость шума и вибрации от способа соединения рельс. На сегодняшний день в г. Минске для соединения рельс применяются два способа: стыковочный и сварочный. В первом случае рельсы между собой могут иметь зазор, который в процессе эксплуатации может увеличиваться, во втором случае рельсы свариваются друг с другом и, соответственно, зазоров не имеют. Для каждого случая замеры проводились в 9 контрольных точках. Расстояние между контрольными точками 6,25 м (это соответствует половине длине рельса, что позволяет оценить уровень шума и вибрации равномерно по всей длине участка как в местах соединения рельс, так и посередине рельса), от ближайшего рельса до контрольной точки – 2 м.

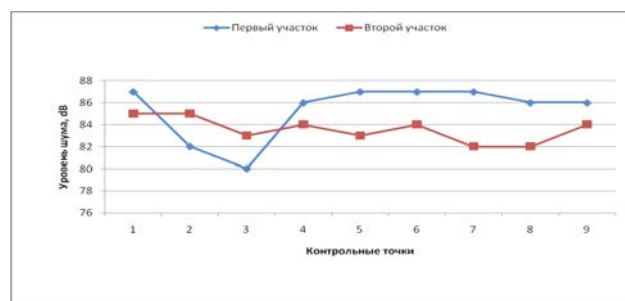


Рисунок 4 – Динамика изменения уровня шума в зависимости от способа соединения рельс (первый участок – стыковой, второй участок – сварной)

Среднее значение уровня шума на первом участке составило 85,3 дБА, а на втором участке – 83,6 дБА (рисунок 4). Разница между первым и вторым участком составляет 1,7 дБА.

Среднее значение уровня вибрации на первом участке составило 46,1 дВ, а на втором участке – 40,1 дВ (рисунок 5). Разница между первым и вторым участком – 6 дВ.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что при сварном соединении рельс средний уровень шума и вибрации ниже на 1,7 дБА и 6 дВ, соответственно.

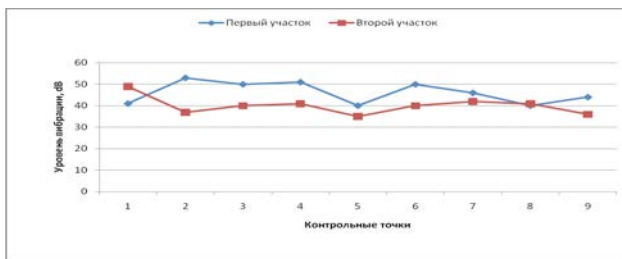


Рисунок 5 – Динамика изменения уровня вибрации в зависимости от способа соединения рельс (первый участок – стыковой, второй участок – сварной)

Вывод. На основании выполненных замеров можно сделать вывод, что на уровень шума и вибрации влияет техническое состояние трамвайного вагона, геометрические неровности поверхности рельса и колеса трамвайного вагона, способ укрепления трамвайного полотна и скорость движения трамвая. Для снижения шума и вибрации трамвая очень важна хорошая подвеска двигателя и силового агрегата, сидений и всего кузова. Также очень важно использовать специальные гасящие колебания материалы при прокладке трамвайных путей. Для снижения вибрации зданий при закладке фундаментов применяют различные амортизационные устройства, уменьшающие передачу колебаний от грунта. В части организации дорожного движения снижение шума и вибраций может быть достигнуто путем уменьшения интенсивности и скорости движения в опасной зоне.

Список литературы

- 1 Отчет о НИР «Исследование трамвайного шума и вибрации при различных вариантах устройства дорожного покрытия трамвайных путей». Минск: НИЦДД БНТУ, 2008.
- 2 Stjepan Lakusic «Impact of tram traffic on noise and vibrations».– Electronic Journal «Technical Acoustics», 2006.
- 3 Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении. Минск : БНТУ, 2002. 306 с.
- 4 Врубель Ю.А., Д.В. Капский Ю. А., Кот Е .Н. Определение потерь в дорожном движении. Минск : РИО БНТУ, 2006. 252 с.
- 5 Факторович А. А. Постников Г. И. Защита городов от транспортного шума. Киев : Будівельник, 1982. – 144 с.
- 6 ТКП 17.08-03-2006 (02120) «Правила расчета выбросов транспортных средств в населенных пунктах»
- 7 Снижение автотранспортного шума в городах / А. Я. Фоменко [и др.]. Киев : Техніка, 1979. 104 с.
- 8 Концепция обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь. Утверждена Постановлением Совмина РБ 14.06.06 г. №757.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

УДК 620.179.18:631.3.004.67

С.Г. Тютрин
Курганский государственный университет

К ВОПРОСУ О НАУЧНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ОСНАЩЕНИИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ИЗ ФОЛЬГИ И МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ

Аннотация. Перечислены основные положения физической мезомеханики. Отмечено, что знание основных принципов физической мезомеханики позволяет лучше понять поведение усталостных датчиков из фольги и металлопокрытий. Предложен способ изготовления качественного портативного микроскопа с увеличением $120\times$ путем модернизации школьного микроскопа советского производства. Работа нацелена на расширение возможностей применения фольги и металлопокрытий в качестве средств мониторинга циклически нагруженных деталей машин.

Ключевые слова: физическая мезомеханика, фольга, усталостный датчик, циклические напряжения, измерение.

S.G. Tyutrin
Kurgan State University

REVISITING SCIENTIFIC SUPPORT AND INSTRUMENTATION OF USAGE OF FOIL AND METAL COATING FATIGUE GAGES

Annotation. The main provisions of physical mesomechanics are listed in the article. It is noted, that the knowledge of basic principles of physical mesomechanics allows us to understand better the behavior of foil and metal coating fatigue gages. The method of manufacturing a high-quality portable microscope with magnification of $120\times$ through upgrading the Soviet-built school microscope is proposed. The paper aims to expand the applicability of foil and metal coating as a means of monitoring cyclically loaded machine parts.

Keywords: physical mesomechanics, foil, fatigue gage, cyclic stresses, measurement.

Применить фольгу и металлические покрытия в качестве датчиков для определения циклических деформаций и напряжений, возникающих на поверхности контролируемой детали, предложено в работах [1; 2]. К настоящему времени многие аспекты данного научного направления исследованы зарубежными [3; 4] и российскими [5-10] авторами. Естественно наличие потребности дальнейшего совершенствования применяемого оборудования с целью повышения как его доступности, так и его эффективности. Кроме того, если существующая феноменологическая модель работы усталостного датчика [8; 9] является вполне достаточной для практического применения, то разработка его математической модели, адекватно описывающей реальное поведение материала датчика (изменение рельефа его поверхности, появление следов дислокаций, микро- и макротрещин и др. эффектов) в процессе циклического деформирования вместе с контролируемой деталью, остается нерешенной задачей фундаментальной науки.

Лучше понять процессы деформации и разрушения материалов (и фольги в частности) позволяет новое научное направление [11-13], активно развиваемое за последние четыре десятилетия учеными Института физики прочности и материаловедения СО РАН, – физическая мезомеханика деформируемого твердого тела.

Дело в том, что «все известные в литературе схемы пластической деформации структурно-неоднородной среды (Закса, Кохендорфера, Бишопа-Хилла, Эшби, Тейлора и др.), несмотря на отличия друг от друга, строятся как различные комбинации кристаллографических сдвигов и рассматривают, таким образом, только трансляционный характер деформации. Это неадекватно действительности и в принципе не позволяет вскрыть природу источников дислокаций, понять закономерности самоорганизации дислокационных ансамблей» [11]. «Структурные уровни деформации относятся к классу мезоскопических масштабов. ...Мезоскопический подход является принципиально новой парадигмой, качественно отличной от методологии механики сплошной среды (макромасштабный подход) и теории дислокаций (микромасштабный подход)» [13].

Используя выходящие за рамки базовой подготовки инженера-механика понятия (изменение во времени градиента компонента тензора дисторсии; градиент компонента тензора дисторсии, отражающий калибровочное поле; предельная скорость распространения калибровочного поля в структурно-неоднородной среде; градиент компонента тензора изгиба-кручения; алгебра Ли; генераторы группы Ли; источники калибровочных полей, связанные с изменением репера во времени; потоки, обусловленные изменением репера в про-

странстве; компоненты тензора напряженности калибровочного поля; размерный параметр структурных уровней деформации среды; фрактальная размерность и др.), получены решения многих фундаментальных задач, в том числе появление волн пластических сдвигов в материале и его поведение при знакопеременных деформациях [13].

Среди практически важных положений, установленных методами физической мезомеханики, отметим следующие:

1) причиной продольного расслоения деформируемого образца, гофрирования его поверхности, появления в поверхностных слоях микротрещин и фрагментации поверхностных слоев на мезоуровне является возникновение (вследствие наличия на поверхности образца окисной пленки или упрочненного слоя) осциллирующих концентраторов напряжений [11];

2) «ступеньки на поверхности деформированных кристаллов связаны не с выходом дислокаций на поверхность (как это принято считать в литературе), а с их зарождением на поверхности» [12];

3) «повороты отдельных ячеек способствуют эффективной релаксации микроконцентраторов напряжений и связанных с ними моментных напряжений» [11];

4) «процесс разрушения является детерминированным. Он органически связан с действием на нагруженный образец максимальных касательных напряжений со стороны базового концентратора напряжений» [12].

При работе с усталостными датчиками из фольги и металлопокрытий одним из наиболее распространенных способов их контроля является осмотр их поверхности с целью фиксации момента появления следов дислокаций, их размеров, мест локализации и ориентации. При этом достаточно использовать оптический микроскоп с увеличением порядка $100\times$ (в частности, в лабораторных условиях весьма удобен в применении микроскоп МБС-9). Однако для работы в полевых условиях (при контроле нагруженности деталей машин и элементов металлоконструкций в местах их эксплуатации) желательно иметь легкий и мобильный микроскоп без снижения значений увеличения и разрешения его оптической системы.

Отчасти проблема решается за счет использования удобных и относительно недорогих микроскопов китайского производства, таких как MG-10081-1 (с увеличением 60– $100\times$), MG-10085 (с увеличением 60– $100\times$), JJ-Optics Digital Lab Mobile USB (оптическое увеличение до $27\times$, общее – до $108\times$) и Digi Micro Mobile (имеет увеличение 20– $200\times$ и дополнительный 4-кратный зум). Однако их паспортные параметры нередко бывают завышенными, освещение и цветопередача не всегда удовлетворительны, четкость наблюдаемого (вследствие изготовления линз из пластмассы) не всегда достаточна.

С целью получения удобного и недорогого

мобильного микроскопа с увеличением порядка $100\times$ и с высоким качеством оптической системы нами была произведена реконструкция школьного микроскопа советского производства. За основу был взят микроскоп УШМ-1 Феодосийского оптического завода «Опта» (рисунок 1). В комплект данного микроскопа входят 2 сменных ахроматических объектива с увеличением $8\times$ (с апертурой 0,2 и свободным рабочим расстоянием 8,91 мм) и $20\times$ (с апертурой 0,4 и свободным рабочим расстоянием 1,8 мм) и 3 сменных окуляра Гюйгенса с увеличением $7\times$, $10\times$ и $15\times$.

Такой и подобные ему (ШМ-1, МУ, МБУ-4) микроскопы, бывшие в употреблении, но в хорошем состоянии, в настоящее время можно приобрести через Интернет по цене 1-2 тыс. руб. В советские годы они выпускались, главным образом, с целью оснащения школьных кабинетов ботаники и биологии для исследования тонких прозрачных образцов в проходящем свете, при этом имели высокое качество изготовления линз из специального оптического стекла.



Рисунок 1 – Микроскоп УШМ-1

В процессе модернизации для получения мобильной версии микроскопа из его базовой конструкции были использованы тубус в сборе и механизм для его движения (кремальера). Остальные части (основание, тубусодержатель, осветительная система) были заменены.

Тубусодержатель одновременно выполняет функцию основания и изготовлен из листовой стали толщиной 1 мм (рисунок 2). Для этого вырезалась заготовка, которой (с целью обеспечения устойчивости конструкции) методом гибки придавалась П-образная форма поперечного сечения. А для освещения контролируемой поверхности предусмотрена закрепленная на гибком держателе подсветка, состоящая из лампы накаливания (3,5 В; 0,26 А), конического отражателя и батареи питания типа 3R12 напряжением 4,5 В.

При использовании микроскопа по назначению его тубусодержатель устанавливается на контролируемую поверхность. При необходимости защитить контролируемую поверхность от механических повреждений она закрывается листом из картона, ватмана, полиэтилена и т.п., в центре которого выполнено отверстие для наблюдения. Фокусировка микроскопа производится как обычно, с помощью кремальеры, состоящей из рейки и зацепляющегося с ней зубчатого колеса (трибки).

С учетом небольшого свободного рабочего расстояния нами используется только объектив с увеличением $8\times$, что при применении окуляров с увеличением $10\times$ и $15\times$ обеспечивает общее увеличение микроскопа $80\times$ и $120\times$. Этого вполне достаточно для работы с современными высокочувствительными усталостными датчиками.



Рисунок 2 – Микроскоп после модернизации

Примененная конструкция осветителя позволяет выполнять наблюдения при косом освещении, причем как темнопольные, так и светлопольные.

Изготовленный микроскоп был успешно применен при исследовании микроструктуры фольги.

Список литературы

- 1 Окубо Х. Определение напряжений гальваническим меднением. М. : Машиностроение, 1968. 152 с.
- 2 Fricke W. G. Fatigue Gages of Aluminum Foil // Proceedings of the American Society for Testing and Materials. V. 62 (1962). P. 268-269.
- 3 Nagase Y., Yoshizaki T. Fatigue Gage Utilizing Slip-initiation Phenomenon in Electroplated Copper Foil // Experimental Mechanics. Vol. 33. No. 1. March, 1993. P. 49-54.
- 4 Kitaoka S., Ono Y. Cyclic biaxial stress measurement by electrodeposited copper foil with circular holes // Strain. Vol. 42 (Issue 1). 2006. P. 49-56.
- 5 Троценко Д. А. Разработка метода количественной оценки накопления усталостных повреждений в сварных соединениях с помощью гальванодатчиков : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1986. 213 с.
- 6 Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л. . Сызранцева К. В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей транс-

миссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск : Наука, 2004. 188 с.

7 Троценко Д. А., Давыдов А.К., Зайцев А.Н. и др. Экспериментально-расчетный метод прогнозирования остаточного ресурса металлоконструкций мостовых кранов с использованием металлических пленок // Безопасность труда в промышленности. 2006. №1. С. 25-27.

8 Тютрин С. Г. Техническая диагностика металлических покрытиями : монография. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2007. 144 с.

9 Тютрин С. Г. Применение металлических покрытий для управления надежностью машин: технологические рекомендации. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2011. 86 с.

10 Панин С. В., Любутин П.С., Бурков М.В. и др. Исследование различных критериев оценки серии оптических изображений в методе датчика деформации интегрального типа // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19. №3. С. 103–118.

11 Панин В. Е. Основы физической мезомеханики // Физич. мезомеханика. 1998. Т. 1. С. 5-22.

12 Панин В. Е. Синергетические принципы физической мезомеханики // Физич. мезомеханика. 2000. Т. 3. №6. С. 5-36.

13 Панин В. Е., Гриняев Ю. В. Физическая мезомеханика – новая парадигма на стыке физики и механики деформируемого твердого тела // Физич. мезомеханика. 2003. Т. 6. №4. С. 9-36.

УУДК 621.313.292

В.В. Фалев

Курганский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. Статья касается метода моделирования магнитного поля вентильно-индукторного двигателя методом конечных элементов. Приведены данные о методике расчета магнитного поля с использованием специального программного обеспечения. Рассмотрены картины силовых линий магнитного поля.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, метод конечных элементов, плоскопараллельное магнитное поле.

V.V. Falev

Kurgan State University

MODELLING OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR MAGNETIC FIELD

Annotation. The paper deals with finite-elements method modeling of switched reluctance motor magnetic field. We report the data set with describing the method for computing magnetic field using special software. The magnetic field patterns were considered.

Keywords: switched reluctance motor, finite elements method, plane-parallel magnetic field.

1 Анализ объекта моделирования

Вентильно-индукторный двигатель (ВИД) представляет собой электрическую машину с явно выраженными зубцами статора и ротора. Ротор не имеет обмотки, а фаза двигателя обычно выполняется в виде двух катушек (индукторов), которые расположены на диаметрально противоположных зубцах статора. Принцип работы вентильно-индукторного двигателя заключается в том, что тела, имеющие ферромагнитные свойства, стараются определенным образом сориентироваться во внешнем магнитном поле [1]. При включении одной из фаз создаваемое ею магнитное поле пронизывает зубцы статора и ротора, и ротор поворачивается, пока не займет положение, в котором магнитный поток, пронизывающий зубцы не достигнет максимального значения.

Образование момента вентильно-индукторным двигателем может быть объяснено при помощи теории электромеханического преобразования энергии [2; 3]. Приращение магнитной энергии ΔW_M в зависимости от электромагнитного момента и изменения положения ротора может быть записано как:

$$\Delta W_M = M_e \Delta \theta,$$

где M_e – электромагнитный момент; $\Delta \theta$ – приращение угла поворота ротора.

Электромагнитный момент может быть выражен как:

$$M_e = \frac{\Delta W_M}{\Delta \theta}.$$

Для линеаризованной системы, если не учитывается эффект насыщения, приращение магнитной энергии соответствует изменению магнитной коэнергии W_f' (израсходованной на совершение механической работы):

$$\Delta W_e = \Delta W_f'$$

Коэнергия для линейной магнитной системы выражается как:

$$W_f' = \frac{1}{2} L(\theta, i) i^2,$$

где $L(\theta, i)$ – индуктивность статора в конкретной позиции; i – ток фазы.

Следовательно, электромагнитный момент:

$$M_e = \frac{\Delta W_M}{\Delta \theta} = \frac{\Delta W_f'}{\Delta \theta} = \frac{dW_f'}{d\theta} = \frac{1}{2} \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} i^2.$$

Из этого выражения следуют следующие выводы:

- 1) так как момент пропорционален квадрату тока, двигатель имеет хороший пусковой момент;
- 2) так как индуктивность статора является функцией угла поворота ротора и тока статора,

создание простой схемы замещения является трудно реализуемой задачей.

При моделировании электродвигателя учитывают три базовых положения ротора относительно статора на интервале коммутации: согласованное положение q , когда зубцы ротора находятся строго напротив пазов статора, магнитная проводимость магнитной системы минимальна, большая часть магнитного потока замыкается через воздух и ротор находится в положении неустойчивого равновесия; положении d - q , когда ротор поворачивается, магнитная проводимость увеличивается и возрастает магнитный поток через активный зубец; и положение d , в котором оси зубцов статора и ротора строго совмещены и магнитная проводимость достигла максимального значения.

Магнитная система вентильно-индукторного двигателя представляет собой концентратор энергии магнитного поля в воздушном зазоре. Основным критерием при проектировании данных электродвигателей, очевидно, становится необходимость достижения максимальной энергии в зазоре, что позволяет сформировать максимальный момент. Однако свойства магнитной системы сильно зависят от геометрических параметров зубцовой зоны, что приводит к нелинейным характеристикам вентильно-индукторных двигателей.

Проблемы существующих методик для расчета проектируемых ВИД заключаются в том, что не существует единого подхода к проектированию в силу большого разнообразия электромашин и малой распространенности ВИД. Часть методик основана на общепризнанных методиках расчета для асинхронных и синхронных двигателей, однако для вентильных индукторных машин они недопустимы, поскольку основаны на предположении о синусоидальном распределении индукции поля в воздушном зазоре электрической машины, что для случая индукторной машины не верно. Эмпирические зависимости, связывающие значения момента с основными геометрическими параметрами машин и электромагнитными нагрузками, получить невозможно в силу отсутствия необходимого количества изготовленных машин данного класса. Поэтому в данном случае для получения характеристик был рассмотрен метод расчета магнитного поля – метод конечных элементов.

Одной из важных причин получения точных значений зависимости $L(\theta, i)$ для вентильно-индукторных двигателей является создание современных систем управления приводом на основе ВИД [4; 5]. Широко применяемые в данное время методы прямого управления моментом (DICT – Direct Instantaneous Torque Control, ADICT – Advanced Direct Instantaneous Torque Control, TSF – Torque Sharing Control) требуют для своей реализации модуля оценки (вычисления) момента ВИД на базе измерения токов статора и

позиции ротора. Это достигается тем, что в памяти контроллера управления содержатся зависимости $L(\theta, i)$ и $M(\theta, i)$.

Существует три основных метода получения требуемого массива данных для ВИД:

- 1) метод, основанный на аппроксимации аналитически или экспериментально полученных кривых намагничивания;
- 2) на основе схемы замещения магнитной цепи;
- 3) на основе расчета магнитного поля методом конечных элементов (МКЭ).

2 Моделирование магнитного поля методом конечных элементов.

При расчетах магнитное поле принимается стационарным плоскопараллельным, так как лобовые части обмоток мало влияют на величину развиваемого двигателем момента.

Последовательность расчета модели имеет следующий вид [1]:

$$A \rightarrow B \rightarrow \Phi_j(\theta, I) \rightarrow L(\theta, I) \rightarrow M(\theta, I)$$

где A – векторный магнитный потенциал;

B – магнитная индукция; $\Phi_j(\theta, I)$ – магнитные потоки, являющиеся функциями угла поворота ротора θ и тока фазы I ; $L(\theta, I)$ – индуктивность; $M(\theta, I)$ – электромагнитный момент;

Для расчета подобных полей целесообразно использовать специализированные программные пакеты, например, ELCUT, ANSYS, COMSOL и др. Проблема их использования для исследовательских целей заключается в высокой стоимости коммерческих версий. Версии же для университетов обладают ограниченным набором функциональных возможностей, основной проблемой среди которых является малое (ограниченное) число полигонов при построении расчетной сетки, что не позволяет произвести расчеты с необходимой точностью.

Поэтому для осуществления расчетов применялось открытое программное обеспечение FEMM и ElmerGUI. Предварительный расчет плоскопараллельного магнитного поля вентильно-индукторного двигателя производился программой FEMM (finite elements method magnetics) [6]. Эта программа хорошо себя зарекомендовала для моделирования магнитных полей. Однако при ее использовании возникают трудности, связанные, во-первых, с параметризацией модели, во-вторых, с деформацией расчетной сетки при изменении позиции ротора. Окончательный расчет производился программным пакетом Elmer GUI. Elmer GUI представляет собой пакет программ для мультифизического моделирования методом конечных элементов, позволяющий производить расчеты электромагнитных, тепловых, гидравлических процессов [9; 10]. За основу при моделировании взята методика, подробно описанная для случая вентильного синхронного электродвигателя [8].

Модель строится на основе известной геометрии зубцовой зоны статора и ротора, рассчитанной по методике описанной в [1; 2; 7] в программе MathCad для следующих начальных условий: число зубцов ротора – 8; число зубцов статора – 6; число фаз – 3; напряжение питания – 380 В, частота вращения – 1000 об/мин; количество витков обмотки – 100; максимальная плотность тока обмотки – 3 А/мм², марка используемой электротехнической стали – 3413; величина воздушного зазора – 0,3 мм.

Модель разбита на подобласти, обладающие определенными физическими параметрами, определяемыми начальными условиями и физическими свойствами материала: статор, ротор, воздушные области зубцовой зоны, воздушная область зазора, где плотность сетки максимальна, воздушная область вне двигателя, где установлены граничные условия, область обмоток (рисунок 1).

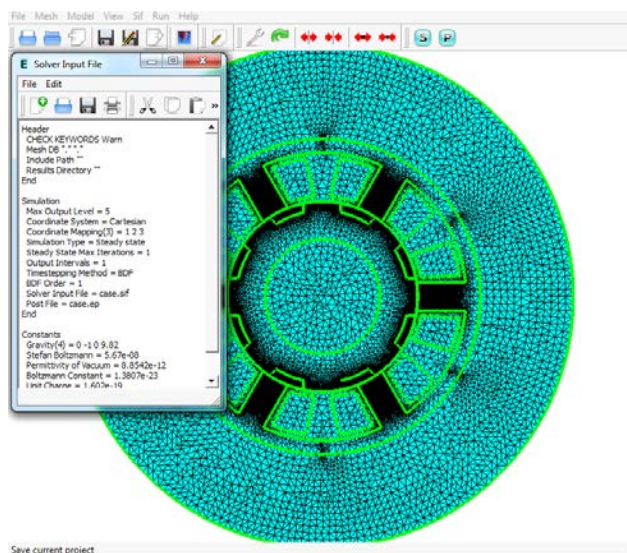


Рисунок 1 – Окно программы ELMER GUI с расчетной моделью

Для аппроксимации кривых намагничивания материала используют кубически сплайны, что может приводить к завышенным значениям магнитной индукции в зонах повышенной магнитной напряженности (вершины зубцов). Граничные условия определяются условием Дирихле – равенство нулю векторного магнитного потенциала на границе, что означает, что магнитный поток данную границу не переходит. При моделировании магнитных полей в двигателе граничные условия устанавливаются не на внешней поверхности статора машины, а на воздушном фиктивном внешнем контуре, окружающем корпус машины. В противном случае могут быть получены неверные значения для характеристик магнитного поля – отсутствие «воздушных» областей приводит к искаженной картине поля, не соответствующей физическим представлениям [1].

Полный цикл построения модели следующий:

- 1) получение исходных данных по геометрии и физическим свойствам материалов;
- 2) построение параметрической 2D модели

электродвигателя в GMSH. Модель задается в виде массива точек, параметризуемых с помощью переменных;

3) формирование сетки в GMSH и получение файла с расширением *.msh;

4) экспорт файла поверхности в ElmerGUI;

5) формирование файла конфигурации с расширением *.csv. Файл должен содержать следующие данные: описание параметров симуляции и начальных условий; описание материалов физических тел и прикладываемых сил, определение плотности тока обмоток; описание граничных условий; конфигурация «вычислений» (Equation), в которых задаются «решатели» (Solver). Каждый Solver представляет собой подключаемую библиотеку для решения конкретной физической задачи. В данном случае использовались MagnetoDynamics2D (решение двумерной задачи магнитодинамики для векторного магнитного потенциала), ResultOutputSolve (вывод данных), MgDyn2DPost (получение данных о магнитной индукции магнитного поля), RigidMeshMapper (преобразования сетки для операции вращения ротора). Файл конфигурации используется как начальные данные для расчета модели.

6) расчет модели электродвигателя методом конечных элементов в ElmerGUI.

Выходными данными являются массивы значений по векторному магнитному потенциалу A и магнитной индукции B для конкретных положений ротора и тока статора.

7) экспорт полученных данных в ParaView (программа визуализации научных данных);

8) обработка данных в ParaView (визуализация и расчет потокосцепления и индуктивности интегральным калькулятором);

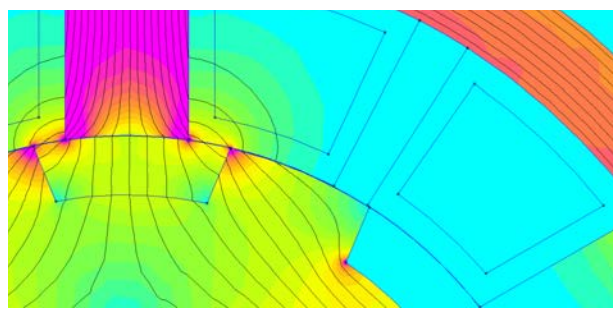
9) экспорт массива данных в Matlab и обработка результатов;

Целью построения модели является имитационный вычислительный эксперимент производимый следующим образом: для ряда дискретных положений ротора при изменении тока фазы, проводятся расчеты МКН для определения индуктивности фазы, по данным о потокосцеплении (магнитном потоке).

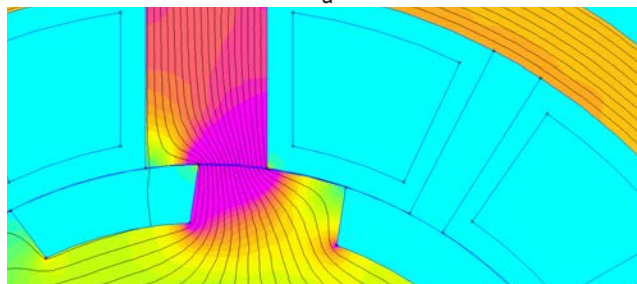
3 Результаты моделирования

На рисунке 2 показаны картины магнитного поля в зубцовой зоне для трех базовых положений ротора. В рассогласованном положении наглядно видно вытеснение магнитных линий в воздушный промежуток.

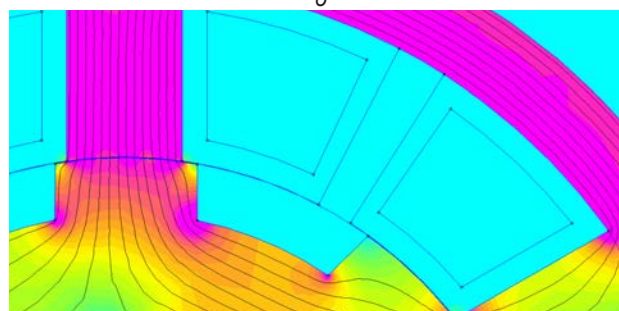
Определение семейств кривых потокосцепления и индуктивности в функции поворота ротора и тока фазы (показаны на рисунках 3 и 4) было произведено при помощи интегрального калькулятора, реализованного в программе ParaView. Симуляция выполнялась в диапазоне 180 электрических градусов для одной из фаз. Для 50 шагов симуляции, соответствующих определенным положениям ротора, изменялось значение плотности тока фазы.



а



б



в

а) рассогласованное положение; б) промежуточное положение; в) согласованное положение;

Рисунок 2 – Картины магнитного поля индукторной машины для положений q , dq и d

Одной из проблем при моделировании методом конечных элементов вращающихся электромашин является моделирование области воздушного промежутка. На рисунке 3 показана сетка зубцовой зоны двигателя. Как видно, плотность сетки должна динамически изменяться по мере приближения к области зазора.

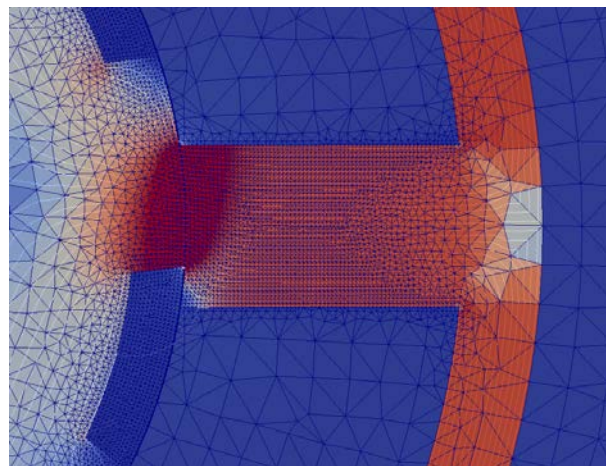


Рисунок 3 – Картина силовых линий магнитного поля с учетом расчетной сетки

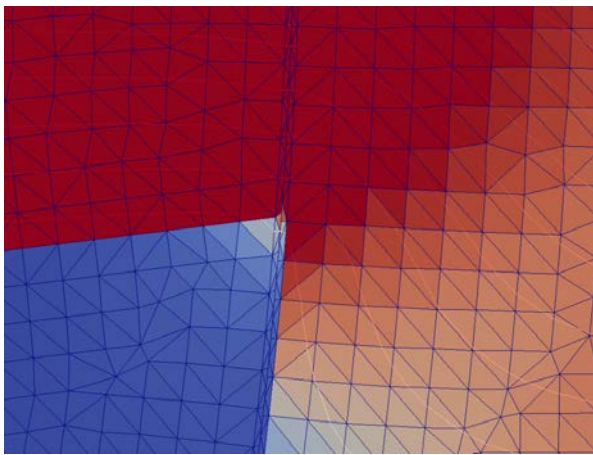


Рисунок 4 – Конфигурация расчетной сетки в зоне воздушного промежутка

Также в процессе вращения ротора сетка воздушного промежутка должна определенным образом преобразовываться на каждом шаге поворота. Область зазора разделена на две части, каждая из которых перемещается относительно другой. По линии, проходящей по центру воздушного промежутка, можно производить измерения магнитной индукции в зазоре.

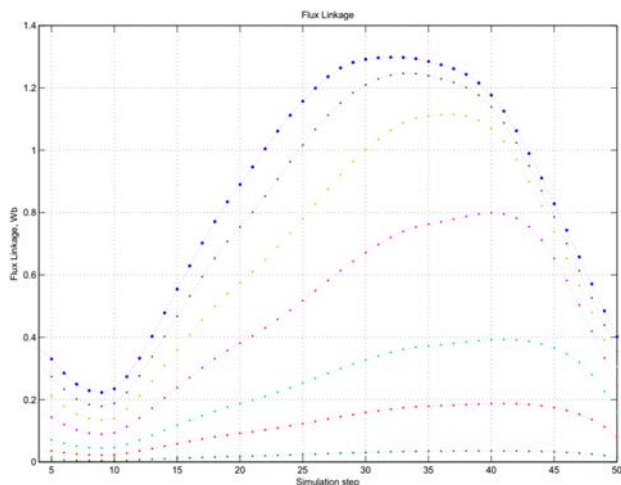


Рисунок 5 – Зависимость потокосцепления фазы (ось ординат) от угла поворота ротора (ось абсцисс) при различных значениях тока

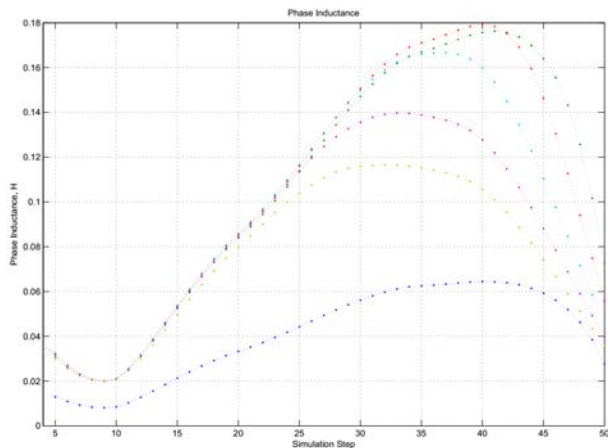


Рисунок 6 – Зависимость индуктивности фазы (ось ординат) от угла поворота ротора (ось абсцисс) при различных значениях тока

Как видно из графиков (рисунки 5, 6), характер изменения индуктивности позволяет говорить о том, что электромагнитный момент носит пульсирующий характер. При правильном проектировании возможно достижение линейного изменения индуктивности на интервале перехода ротора из рассогласованного положения в согласованное. Если принять во внимание, что в положении рассогласования и в согласованном положении индуктивность изменяется слабо, можно использовать для полученных данных кусочно-линейную аппроксимацию. Однако существует явление, показанное на рисунке 2 б и рисунке 3, а именно локальное насыщение вершин зубцов статора ротора в момент их взаимного перекрытия. Это может приводить к тому, что максимум развиваемого момента достигается во время перекрытия зубцов, после чего он будет нелинейно зависеть от насыщения магнитной системы.

Список использованных источников

- 1 Голландцев Ю. А. Вентильные индукторно-реактивные двигатели. СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 2003. 148 с.
- 2 Кузнецов В. А., Кузьмичев В. А. Вентильно-индукторные двигатели: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2003. 70 с.
- 3 Аракелян А. К., Афанасьев А. А. Вентильные электрические машины в системах регулируемых электроприводов: учебное пособие для вузов: в 2 т. Т.1. М.: Высш. шк., 2006. 546 с.: ил.
- 4 JIn-Woo Ahn. Switched Reluctance Motor Torque Control / JIn-Woo Ahn - InTech, 2011.-53 p. URL: <http://cdn.intechHYPERLINK> «<http://cdn.intechweb.org/pdfs/13717.pdf%20>» web.org/pdfs/13717.pdf
- 5 Sanjub Kumar Sahoo High-performance torque control of switched reluctance motor / Sanjub Kumar Sahoo // A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Singapore: national University of Singapore, 2006. 176 p. URL: http://scholarbank.nus.edu.sg/bitstream/handle/10635/13313/SanjibSahoo_PhD_Thesis.pdf?sequence=1
- 6 David Meeker Finite Elements Method Magnetics Version 4.2 User's manual: David Meeker. 2015. 161 p. URL: www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf
- 7 Рисованый С. В., Финкельштейн В. Б. Проектирование вентильных реактивных двигателей: монография. Х.: ХНУГХ, 2014. 245 с.
- 8 Pavel Ponimarev FEMM Modeling Using Elmer Pavel Ponimarev - Technical research centre of Finland, 2015. 74 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/275890336_FEM_Modeling_of_PMSMs_Using_Elmer
9. Peter Raback ElmerGrid Manual [Электронный ресурс]/ Peter Raback. – CSC, 2015. - 43 p. URL: <http://www.nic.funet.fi/pub/sci/physics/elmer/doc/ElmerGridManual.pdf>
10. Peter Raback Elmer Models Manual [Электронный ресурс]/ Peter Raback, Mika Malenin, Juha Ruokolainen, eds. - CSC, 2016. – 290 p. URL: <http://www.nic.funet.fi/pub/sci/physics/elmer/doc/ElmerModelsManual.pdf>

--

А.М. Семахин, И.В. Пахомов
Курганский государственный университет

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Аннотация. Повышение эффективности проектирования информационной системы организации в условиях неопределённости и риска является актуальной задачей. Для ее решения применяются методы теории исследования операций.

Разработан метод определения оптимального проекта информационной системы в условиях частичной неопределённости. Формулируется задача нелинейного программирования. Для определения оптимального плана математической модели используется метод Лагранжа.

Применение разработанного метода позволяет сократить финансовые затраты и сроки проектирования информационных систем и повысить обоснованность принимаемых решений на этапе проектирования.

Ключевые слова: информационная система, математическая модель, нелинейное программирование, неопределённость, математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, функция Лагранжа, метод Лагранжа, оптимальный план.

A.M. Semakhin, I.V. Pahomov
Kurgan State University, Kurgan, Russia

THE CHOICE OF THE OPTIMUM PROJECT OF ORGANIZATION INFORMATION SYSTEM IN CONDITIONS OF PARTIAL INDETERMINACY

Annotation. Increase of efficiency of organization information system designing in conditions of partial indeterminacy and risk is an actual problem. Methods of the theory of operation research are applied to the decision of the problem.

The method of information system designing in conditions of partial indeterminacy is developed. The problem of nonlinear programming is formulated. The Lagrange method is used for determination of the optimum plan of mathematical model.

Application of the developed method allows reducing financial expenses and time limits for information systems designing in conditions of

partial indeterminacy and raising validity of accepted decisions at the design stage.

Keywords: Information system, mathematical model, nonlinear programming, partial indeterminacy, mathematical expectation, dispersion, standard deviation, Lagrange function, Lagrange method, the optimum plan.

Введение

Проектирование информационных систем – логически сложная, трудоёмкая и длительная работа, требующая высокой квалификации специалистов. Проектирование информационных систем нередко выполняется на интуитивном уровне неформализованными методами. В процессе создания и функционирования информационных систем требования меняются или уточняются [1]. Повышение эффективности проектирования информационных систем является актуальной задачей. Проектирование информационных систем в условиях детерминированности и неопределённости рассматривалось в работах [2-5]. Проектирование информационных систем в условиях частичной неопределённости является частным случаем.

Постановка задачи

Задача формулируется следующим образом: из числа фирм, предоставляющих услуги спутникового Internet на территории Российской Федерации, в условиях частичной неопределённости требуется выбрать провайдера спутникового Internet с минимальной величиной дисперсии эффективности проектов информационных систем.

Разработка математической модели

Пусть $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} = \{p_i\}$ – множество проектов информационной системы, $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} = \{r_i\}$ – множество эффективностей проектов информационной системы, $i = \overline{1, n}$. Эффективности r_i – случайные некоррелированные величины. Эффективность r_0 – эффективность безрисковой части проектов информационных систем, m_0 – математическое ожидание эффективности r_0 . Характеристики случайных величин r_i – математические ожидания $MR_i = m_i$ и дисперсии $DR_i = \sigma_i^2$ эффективностей проектов информационных систем являются известными величинами. Значение средней эффективности группы проектов информационных систем m_p задается лицом принимающим решение.

Пусть X_i – доли финансирования проек-

тов информационной системы $P_i, i = \overline{1, n}$. Доля финансирования безрисковых проектов X_0 . Переменные X_i и X_0 удовлетворяют условиям

$$0 \leq X_i \leq 1, 0 \leq X_0 \leq 1 \quad \sum_{i=1}^n X_i + X_0 = 1$$

Необходимо определить оптимальный проект и долю безрисковых проектов информационных систем в условиях частичной неопределённости. Формулируется задача нелинейного программирования.

Математическая модель имеет вид

$$\min \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i * X_j * \text{cov}(r_i, r_j)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n X_i + X_0 = 1 \\ \sum_{i=1}^n m_i * X_i + r_0 * X_0 = m_p \\ X_0 \geq 0, X_i \geq 0, i = \overline{1, n} \end{cases}, \quad (1)$$

где X_i – доля финансирования i проекта, $i = \overline{1, n}$;

X_0 – доля безрисковых проектов;

$\text{cov}(r_i, r_j)$ – ковариация r_i и r_j ,

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i * X_j * \text{cov}(r_i, r_j);$$

r_0 – эффективность безрисковых проектов;

m_i – математические ожидания эффективностей i проектов;

m_p – значение средней эффективности группы проектов;

i – номер проекта, $i = \overline{1, n}$;

n – количество проектов [6].

Оптимальное решение нелинейной математической модели определяется методом Лагранжа [7]. Метод Лагранжа определяет оптимальное решение задачи на условный экстремум. Определение условного экстремума функции $f(x_1, \dots, x_n)$ заменяется определением безусловного экстремума функции Лагранжа

$L(x_1, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_k)$, x_i – переменная, λ_j – множитель Лагранжа, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$, $k < n$.

На примере главного управления социальной защиты населения по Курганской области определяется оптимальный проект и доля безрисковых проектов информационной системы в условиях частичной неопределённости.

Пусть X_1 – доля финансирования проекта Skydsl, X_2 – доля финансирования проекта Триколор Интернет, X_3 – доля финансирования проекта Open Sky, X_4 – доля финансирования проекта LanSat, X_5 – доля финансирования проекта GxSAT. Доля безрисковых проектов X_0 .

Проекты информационной системы имеют эффективности $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\} = \{r_i\}$,

$i = \overline{1, 5}$. Эффективности проектов информационной системы r_i – случайные некоррелированные величины. Эффективность безрисковых проектов r_0 . Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

| Проект | Эффективность r_i | Математическое ожидание m_i | Среднее квадратичное отклонение σ_i |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|--|
| Skydsl | r_1 | 15 | 5 |
| Триколор Интернет | r_2 | 10 | 3 |
| Open Sky | r_3 | 20 | 8 |
| LanSat | r_4 | 16 | 6 |
| GxSAT | r_5 | 12 | 4 |

Значение средней эффективности группы проектов $m_p = 1$. Значение эффективности безрисковой части проектов r_0 . Математическое ожидание $m_0 = 5$.

Математическая модель выбора оптимального проекта информационной системы запишется в виде

$$\min \leftarrow Z = 25 * X_1^2 + 9 * X_2^2 + 64 * X_3^2 + 36 * X_4^2 + 16 * X_5^2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_0 = 1 \\ 15 * X_1 + 10 * X_2 + 20 * X_3 + 16 * X_4 + 12 * X_5 + 5 * X_0 = 11 \\ X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Решение математической модели

Оптимальный план нелинейной математической модели определяется методом Лагранжа. Алгоритм решения задачи оптимизации методом множителей Лагранжа включает следующие этапы.

Этап 1. Определяется функция Лагранжа.

Этап 2. Определяются стационарные точки функции Лагранжа.

Этап 3. Определяются условные экстремумы функции.

Оптимальное решение

$$X^* = \{0.1173, 0.1629, 0.0687, 0.0896, 0.1283\}$$

Доля безрисковых проектов $X_0 = 0.4332$

Проект Триколор Интернет имеет максимальную долю финансирования $X_2 = 0.1629$

Проект Open Sky имеет минимальную долю финансирования $X_3 = 0.0687$

Дисперсия проектов информационных систем $Z = 1.437$

Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

1 Для определения оптимального проекта информационной системы в условиях частичной неопределённости применена математическая модель нелинейного программирования.

2 Оптимальное решение нелинейной математической модели определяется методом Лагранжа.

3 Использование результатов исследования позволяет снизить финансовые издержки и временные затраты на этапе проектирования информационных систем и повысить обоснованность принимаемых решений в условиях частичной неопределённости.

4 Результаты работы могут быть использованы в проектировании информационных систем и в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1 Гвоздева Т. В., Баллод Б. А. Проектирование информационных систем : учебное пособие. Ростов н/Д. : Феникс, 2009. 508 с.

2 Семахин А. М. Метод Гаусса-Жордана в моделировании информационной системы // Естественные и технические науки. 2014. №5(73) С. 153-163.

3 Semakhin A. M. The Gauss-Jordan's Method In Modelling Of Information System. // Young Scientist USA. 2014. Vol. 1. С. 133-142.

4 Семахин А. М. Нелинейное программирование в моделировании информационных систем // Вестник КузГТУ. 2016. №1. С. 187-191.

5 Semakhin A. The Method Of Lagrange Multipliers In Modelling Of Information Systems. International Masaryk Conference for Ph.D. Students and Young Researchers 2016 vol. VII. Hradec Kralove, The Czech Republic.

6 Колемаев В. А. Математическая экономика. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. 399 с.

7 Таха Хемди А. Введение в исследование операций. 7-е изд. М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. 912 с.

В.К. Волк
Курганский государственный университет

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПЛАНА КАК ОСНОВА ЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Аннотация. В статье обсуждается проблема информационного моделирования образовательного процесса с целью создания технологических компонентов электронной информационно-образовательной среды вуза. Проведена декомпозиция модели и предложены ER-модели её компонентов, обеспечивающие решение задач автоматизированного формирования модулей учебно-методического комплекса.

Ключевые слова: образовательная программа, учебный план, учебно-методическое обеспечение, ER-модель.

V.K. Volk
Kurgan State University

THE CURRICULUM INFORMATION MODEL AS THE BASE OF COMPUTERIZED EDUCATIONAL SYSTEM

Annotation. The article discusses the problem of information modeling of the educational process in order to create technological components of electronic informational and-educational environment of higher education institutions. We conducted a decomposition of the model and proposed ER-models of its components, providing the solving of the problem of educational complex modules automated formation.

Keywords: educational program, curriculum, methodical support, ER-model.

1 Актуальность

Идея интеграции компьютерных и образовательных технологий далеко не нова, и вряд кто будет сегодня всерьез отрицать полезность компьютеризации учебного процесса. Актуальность такой интеграции определяется многими факторами, в том числе развитием дистанционных образовательных технологий и сетевых форм обучения, и подтверждается образовательными стандартами. В частности, российские стандарты последнего поколения требуют наличия в вузе электронной информационно-образовательной среды, обе-

спечивающей минимально-необходимый уровень автоматизации образовательного процесса: возможность удаленного доступа к образовательным ресурсам, фиксацию результатов освоения учебных дисциплин, оперативное взаимодействие участников учебного процесса, формирование электронного портфолио студента.

Отдельно следует отметить еще один фактор, подтверждающий актуальность разработок, направленных на компьютеризацию учебного процесса: это повышение уровня его формализованности и регламентированности (унификация образовательных программ, компетентностный подход, балльно-рейтинговая система, фонды оценочных средств и т.д.) и, как следствие, повышение требований к его документальному обеспечению со стороны управляющих и контролирующих структур. Излишняя (по мнению автора) формализованность образовательного процесса создает проблему для преподавателей, так как существенно увеличивает объем рутинной работы по подготовке, регулярной корректировке и согласованию учебных планов, программ изучения дисциплин, учебно-методических материалов и отчетной документации, но, с другой стороны, создает основу для решения этой проблемы – формализованный процесс гораздо легче поддается компьютерному моделированию и автоматизации.

Имеющиеся разработки в рассматриваемой области [1-3] ориентированы в основном на решение задач автоматизации управленческого документооборота и формирования отчетности, а также задач информационного обеспечения участников образовательного процесса. При этом технологические функции автоматизированной образовательной среды либо не рассматриваются совсем [2; 3], либо ограничиваются встраиванием в систему средств ввода данных и редактирования фрагментов текстовых документов [1].

2 Постановка задачи: UML-модель вариантов использования

Учебный процесс – это основной технологический процесс, реализуемый образовательной организацией, а учебный план – основной документ, регламентирующий процесс реализации образовательной программы. Учебный план (в его современном документальном оформлении) представляет собой информационную модель верхнего уровня, определяющую структуру образовательной программы (разделы, модули, дисциплины, виды учебных занятий и итогового контроля), а также хронологический (учебный график, распределение дисциплин по семестрам), объемный (зачетные единицы трудоёмкости) и содержательный (компетенции) аспекты её реализации.

Такая модель обеспечивает решение задачи контроля соответствия образовательной программы требованиям к её структуре и результатам

освоения, однако она мало приспособлена для решения технологических задач в составе электронной информационно-образовательной среды вуза.

Предлагаемая модель учебного плана ориентирована на решение следующих задач.

Актуализация учебно-методического обеспечения образовательных программ:

- формирование документации основных и дополнительных образовательных программ в соответствии с требованиями образовательных и профессиональных стандартов;

- формирование, редактирование и анализ качества учебных планов;

- поддержка многоверсионности учебных планов;

- автоматизированное формирование шаблонов рабочих программ изучения дисциплин в соответствии с учебными планами и требованиями локальных нормативных документов;

- редактирование тематических планов изучения дисциплин;

- формирование компонентов фонда оценочных средств.

Информационное обеспечение участников образовательного процесса (оперативный доступ к информационно-образовательным ресурсам):

- образовательные и профессиональные стандарты;

- образовательные программы;
- учебные планы и календарные графики;
- рабочие программы изучения дисциплин;
- тематические планы и графики проведения мероприятий текущего контроля;

- учебно-методические материалы;

- компоненты фонда оценочных средств;

- расписания учебных занятий и экзаменационных сессий.

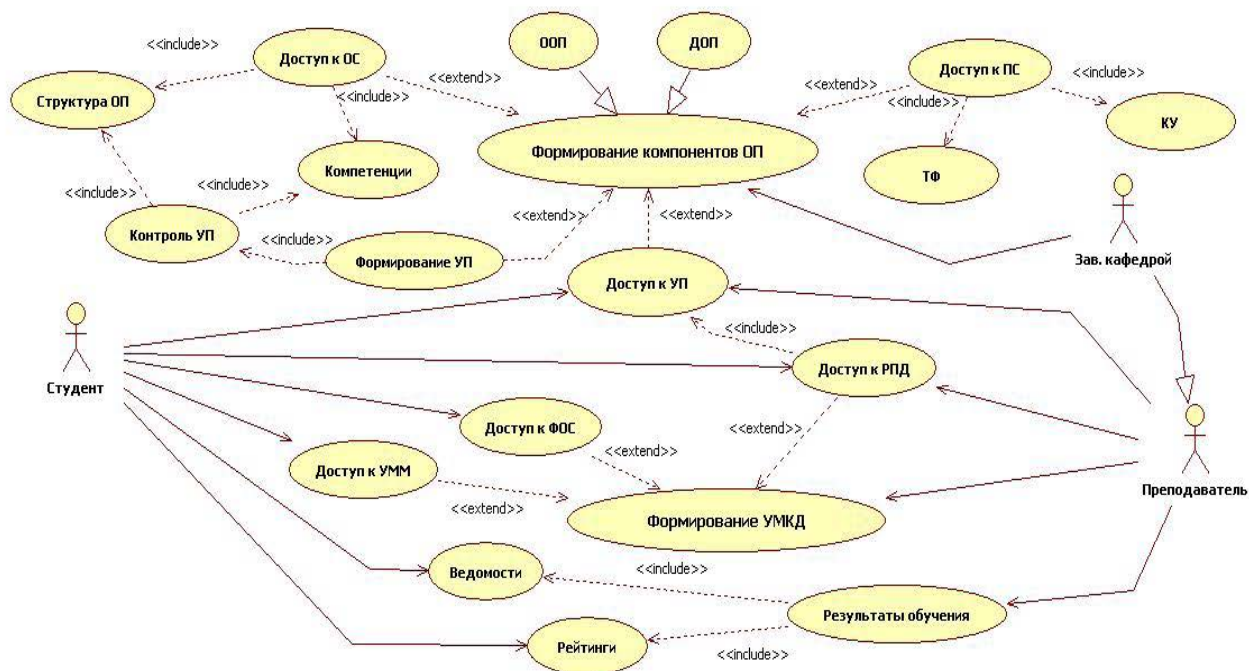
Оперативный учет и анализ результатов освоения студентами учебных дисциплин:

- регистрация результатов текущего и итогового контроля знаний;

- формирование печатных документов установленных форм (аттестационных ведомостей);

- формирование рейтинговых списков и иных аналитических отчетов по успеваемости студентов.

На рисунке 1 приведена графическая диаграмма, иллюстрирующая UML-модель вариантов использования (UseCase-Model) учебного плана. Такая модель дает более детальное представление сущности «Учебный план» (до уровня отдельных тем изучаемых дисциплин) и позволяет использовать ее при разработке технологических инструментов, обслуживающих приведенные выше функции электронной информационно-образовательной среды вуза.



ОП – образовательные программы; ООП – основные ОП; ДОП – дополнительные ОП; ОС – образовательные стандарты; ПС – профессиональные стандарты; ТФ – трудовые функции; КУ – квалификационные уровни; УП – учебные планы; РПД – рабочие программы изучения дисциплин; УМКД – учебно-методические комплексы дисциплин; УММ – учебно-методические материалы; ФОС – фонд оценочных средств

Рисунок 1 – UML-модель вариантов использования

3 Объектная модель

Дальнейшая детализация модели учебного плана связана с её декомпозицией на функциональные компоненты (модули) и разработкой объектной структуры компонентов. В результате декомпозиции выделено три взаимосвязанных компонента модели: «Образовательные программы», «Учебные дисциплины» и «Тематические планы изучения дисциплин». Рисунки 2-4 иллюстрируют объектную структуру каждого из компонентов в формате ER-диаграмм.

3.1 ER-модель компонента «Образовательные программы»

Информационная модель этого компонента (рисунок 2) классифицирует образовательные программы по категориям (например, прикладная или академическая, основная или дополнительная), специальностям, образовательным уровням, профилям и позволяет ассоциировать программу с образовательным стандартом (со ссылками на указанные в стандарте компетенции), а также с одним или несколькими профессиональными стандартами (со ссылками соответствующие трудовые функции).

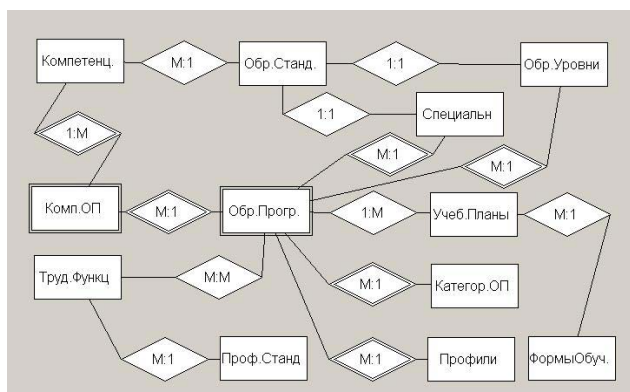


Рисунок 2 – ER-модель компонента «Образовательные программы»

Модель позволяет также ассоциировать с каждой образовательной программой учебные планы для различных форм обучения с указанием всех необходимых реквизитов (например, даты утверждения плана и года начала подготовки студентов по этому плану).

3.2 ER-модель компонента «Учебные дисциплины»

Модель этого компонента (рисунок 3) представляет собой декомпозицию объекта «Учебные планы», рассматриваемого как элемент соответствующей образовательной программы. Для каждой дисциплины учебного плана определены все её внешние атрибуты: категория дисциплины (например: «базовая», «вариативная» или «элективная»), трудоемкость её освоения (по семестрам и видам учебных занятий), виды итогового контроля, перечень формируемых дисциплиной компетенций и образовательных результатов, а также кафедра, обеспечивающая преподавание дисциплины. Этой информации достаточно для форми-

рования титульных разделов рабочей программы учебной дисциплины.

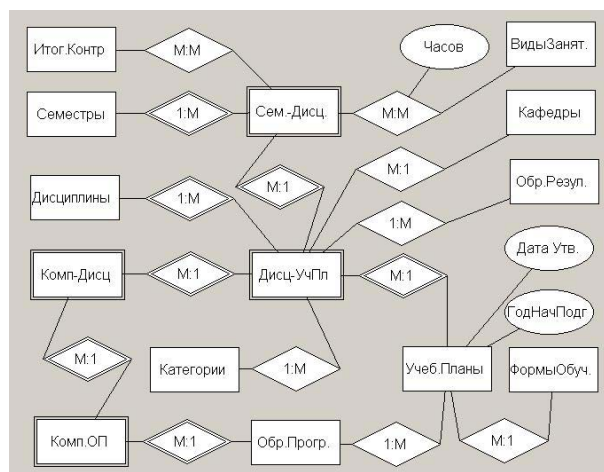


Рисунок 3 – ER-модель компонента «Учебные дисциплины»

3.3 ER-модель компонента «Тематические планы изучения дисциплин»

Компонент продолжает декомпозицию модели учебной дисциплины, детализируя её до уровня тематических разделов и далее – до уровня учебных занятий и текущего контроля знаний студентов (рисунок 4).

Сущность «Сем.-Дисц.» (на рисунках 3 и 4) представляет односеместровую часть учебной дисциплины, которая, в свою очередь, представлена множеством тематических разделов («Тем»). Для каждой темы определены планируемые образовательные результаты (Обр.-Резул.), а также компоненты программного (ПО) и технического (ТС) обеспечения, используемые при её изучении.

С темой дисциплины ассоциировано множество учебных занятий, классифицированных по видам, и множество мероприятий текущего контроля знаний, а также состав учебно-методических материалов (УММ) и компонентов фонда оценочных средств (ФОС).

Как видим, модель детально описывает основную контент рабочей программы изучения дисциплины и может быть применена при разработке программных инструментов, используемых для автоматизированного формирования рабочих программ и доступа к их содержимому.

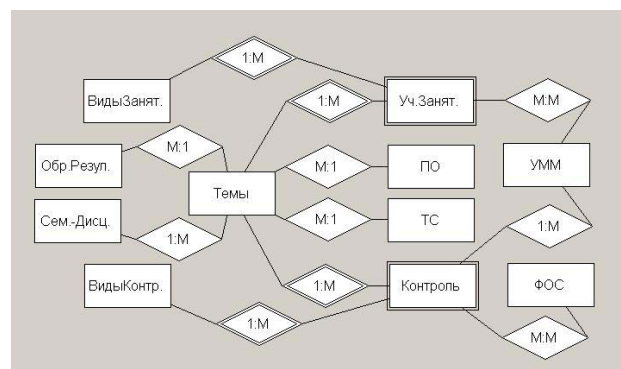


Рисунок 4 – ER-модель компонента «Тематические планы изучения дисциплин»

4 Программная реализация

На основе рассмотренных выше ER-моделей компонентов образовательных программ была разработана логическая модель данных, которая была программно реализована в формате схемы реляционной базы данных. Проект был доведен до уровня действующего макета информационной системы, включающей базу данных и компоненты клиентских web-приложений.

Программная реализация базы данных и клиентских приложений осуществлена студентом КГУ А.А.Павловым под руководством автора. Тестирование показало эффективность принятого подхода к разработке модели и достаточную её информативность на всех уровнях декомпозиции.

5 Заключение

По результатам проведенного анализа структуры образовательного процесса, реализуемого вузами (в основном, на примере КГУ) разработана UML-модель вариантов использования, позволившая сформулировать основные требования к функциональным характеристикам автоматизированной информационно-образовательной среды, в том числе функции формирования и поддержки в актуальном состоянии компонентов учебно-методического обеспечения образовательных программ.

Разработана иерархическая структура информационной модели образовательного процесса, детально проработаны модели её компонентов, выполнена программная реализация макета системы, показавшая эффективность принятого подхода к разработке электронной информационно-образовательной среды.

Рассмотренная модель масштабируема и может быть использована при различных вариантах развертывания системы (кафедра, факультет или вуз в целом), а также создает концептуальную основу и открыта для функционального расширения или интеграции с другими подсистемами.

Например, дополнение модели компонентом «*Контингент студентов*» (тривиальным по своей структуре) и связывание его с существующим компонентом «*Тематические планы изучения дисциплин*» позволит реализовать задачу оценивания и оперативного учета индивидуальных результатов освоения студентами тематических разделов учебных дисциплин. Примером другого тривиального расширения (скорее, углубления) модели может быть дальнейшая декомпозиция сущности «*Учебные занятия*» и её детализация до уровня дидактических единиц и поурочного планирования.

Менее тривиальное расширение модели может быть связано с реализацией функций автоматизированного обучения, что потребует внедрения в проблематику инженерии знаний и не входит круг проблем, рассматриваемых в настоящей статье.

Список литературы

1 Система Tandem University — Тиражное программное обеспечение, которое реализует комплексную автоматизацию образовательных учреждений: вузов, колледжей, училищ, техникумов. URL: <http://www.quorus.ru/pages/sistema-tandem-university/>

2 Intranet: Academic - Система автоматизации управления учебным процессом ВУЗа. URL: <http://softwareinc.ru/solutions/intranet-academic/>

3 Автоматизированная система управления учебным заведением (АСУ ВУЗ) Universys WS5. URL: <https://allsoft.ru/software/vendors/gisoft/asu-uz-universys-ws-5/>

УДК 378

Н.Н. Соколова

Курганский государственный университет

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЕТЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация. В статье речь идет о применении компетентностного подхода при обучении в университете студентов инженерных направлений. Формирование компетенций у студентов предлагается осуществлять через выполнение компетентностно-ориентированных заданий в процессе обучения информатике, поскольку именно на широком применении информационных и телекоммуникационных технологий основаны все современные технологические решения в сфере инженерной деятельности. Под компетентностно-ориентированным понимают задание, в ходе выполнения которого обучаемый не только овладевает новыми умениями и навыками по предмету, но и приобретает компетенции, необходимые в дальнейшей учебе и жизни.

Ключевые слова: Компетентностно-ориентированное задание, проектирование, база данных, сущность, атрибут, связь, информационная модель, логическая модель, реляционная модель.

N.N. Sokolova

Kurgan State University

COMPETENCE-ORIENTED TASKS IN THE ENGINEERING EDUCATION

Annotation. The article deals with the application of the competency-based approach to the students education in engineering. Formation of the necessary competences must be based on competence-oriented task's implementation in the study of informatics, because modern technological solutions in the field of engineering are based exactly on wide application of information and telecommunication technologies.

The term competence-oriented task means that during the task performance a student gets new skills and abilities in the school subject, and, moreover, gets further studying and life required competences.

Keywords: Competence-oriented task, engineering, database, entity, attribute, relation, information model, logical model, relational model.

Инженерная профессия, используя свою коммуникативную и межпредметную сущность, объединяет междисциплинарное знание, инновационные представления и образы среды с собственными возможностями синтеза разнородной информации для создания новой предметной реальности. Инженерная деятельность требует целостного представления об объекте проектирования, сформированного «многоэкранным» мышления, знания языка формул, чертежей и схем, сочетания научного и художественного стилей мышления.

Современная социально-экономическая ситуация определяет новое содержание ответственности специалиста инженерного профиля. Современному производству свойственна быстрая смена технологий, обновление оборудования, внедрение новых процессов и материалов. Современный инженер должен не только обеспечить нормальное функционирование отработанных технологических процессов, но и применять научные методы при их исследовании и разработке, а также совершенствовать организацию и управление производством.

Формирование необходимых компетенций у студентов целесообразно осуществлять через выполнение компетентностно-ориентированных заданий в процессе обучения информатике, поскольку именно на широком применении информационных и телекоммуникационных технологий основаны все современные технологические решения в сфере инженерной деятельности. Под компетентностно-ориентированным понимают задание, в ходе выполнения которого обучаемый не только овладевает новыми умениями и навыками по предмету, но и приобретает компетенции, необходимые в дальнейшей учебе и жизни.

Современное знание информационных систем не может быть полным без знания концепции баз данных. База данных – это динамическая целевая модель некоторого сегмента предметной области, описывающая множество факторов, существенных в рамках функционирования проектируемой информационной системы. Студенты на практике имеют возможность пройти этапы проектирования базы данных, начиная с разработки внешних моделей предметной области, информационной модели предметной области до разработки логической и физической модели данных.

Под внешней моделью понимается совокупность требований к проектируемой базе данных. Основное назначение этапа разработки внешней модели – изучение и подробное описание основ-

ных технологических и информационных процессов предметной области, подлежащих автоматизации средствами проектируемой системы. Предметной областью называется часть реального мира, о которой собирается и хранится информация. Информационная или концептуальная модель разрабатывается на основе внешней модели и предназначена для формального описания объектной структуры предметной области. Известно, что фундаментальными реалиями в концептуальном моделировании являются данные с их свойствами и связи между ними. Такое моделирование помимо указания о наличии определенных данных и связей нуждается в указаниях относительно смыслового, семантического содержания. Составляющие модели – объекты, их свойства и связи между объектами. Результаты информационного моделирования представляются в виде простой и удобной для понимания и анализа графической диаграмме «сущность-связь».

Рассмотрим информационную модель предметной области «Учет успеваемости студентов». Студентам в течение нескольких аудиторных занятий предлагается спроектировать базу данных, в которой содержатся сведения о студентах, факультетах, направлениях, группах и дисциплинах, преподаваемых в университете. Также в базе данных должна быть предусмотрена возможность формирования расписания занятий и учета успеваемости студентов. Отметим, что данная предметная область хорошо знакома студентам.

Решение данной задачи проектирования базы данных походит в два этапа. Первый этап занимает две пары – одно лекционное и одно лабораторное занятие. На данном этапе студенты занимаются собственно проектированием базы данных, т.е. разрабатывают информационную модель предметной области в виде диаграммы «сущность-связь». Часто ее называют ER-моделью (Entity – сущность, Relation – связь). Рассмотрим очередность построения диаграммы «сущность-связь»:

1 Сначала выделяются сущности предметной области. Сущность – это некоторый объект реального мира, который может существовать независимо. Сущность должна быть четко идентифицирована, т.е. у нее должно быть уникальное имя и должен быть способ отличить одну сущность от другой. На диаграмме «сущность-связь» сущности соответствуют прямоугольники с вписанным внутри именем сущности, причем имя сущности должно быть существительным. В нашем примере сущности: студенты, факультеты, направления, группы, дисциплины, виды испытаний (зачет, экзамен, контрольная работа и др.).

2 У каждой сущности есть характеристики, которые называются атрибуты. Атрибуты обозначаются на диаграмме прямоугольниками с закругленными краями, внутри которых вписаны имена атрибутов. Особое значение имеет ключевой атрибут, который уникальным образом идентифи-

цирует экземпляр сущности. Ключевой атрибут должен быть у каждой сущности. На диаграмме он выделяется подчеркиванием. Например, сущность «Студент» характеризуется атрибутами: № зачетной книжки, ФИО, Домашний адрес, Дата рождения. Особым способом, с помощью двойной рамки, выделяется многозначный атрибут – Номер телефона. Для него впоследствии будет создана отдельная таблица. Каждый экземпляр сущности представляет собой конкретного студента и будет обозначен строкой таблицы. «№ зачетной книжки» является ключевым атрибутом сущности, т.к. он однозначно идентифицирует каждого студента. (рисунок 1).

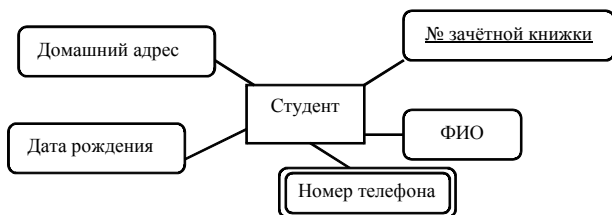


Рисунок 1 – Определение атрибутов сущности

3 Между сущностями должны быть созданы связи. Связь характеризует отношение между сущностями и отображает взаимосвязи между реальными объектами. Связь на диаграмме «сущность-

связь» представлена ромбом с вписанным внутри именем связи, которое обозначается глаголом. В общем случае между двумя сущностями может быть создана одна из трех видов связей: один-к-одному, один-ко-многим, многие-ко-многим. В нашей работе мы не будем использовать тип связи один-к-одному. Пример связи один-ко-многим: в одной группе учится много студентов (рисунок 2), многие-ко-многим: один студент сдает много дисциплин, на одну дисциплину сдают много студентов (рисунок 3).

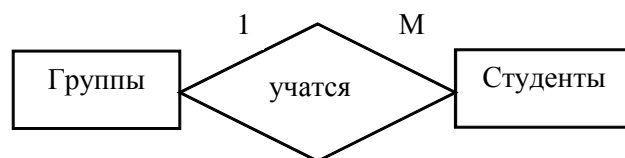


Рисунок 2 – Связь один-ко-многим

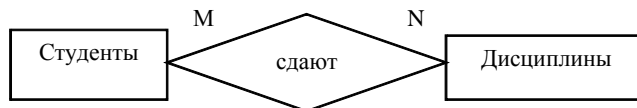


Рисунок 3 – Связь многие-ко-многим

Итогом работы на первом этапе является созданная информационная модель данных представленная диаграммой «сущность-связь» (рисунок 4). На этом первый этап проектирования базы данных завершен.

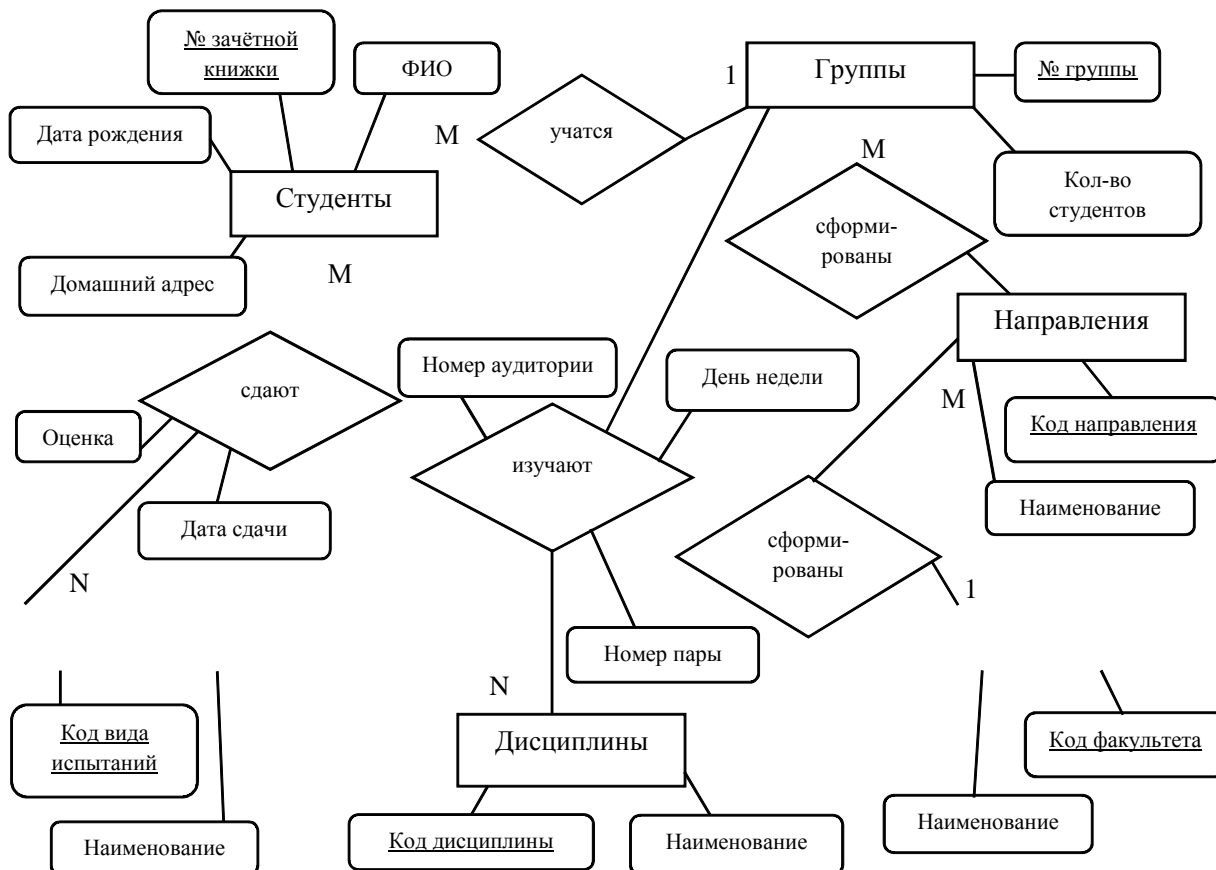


Рисунок 4 – Диаграмма «сущность-связь» предметной области «Учет успеваемости студентов»

В информационной модели сущности-объекты – это факультеты, направления, группы, студенты, дисциплины и виды испытаний. У каждой сущности прямоугольниками с закруглёнными краями обозначены атрибуты – характеристики сущности. Так, характеристиками студента выступают «№ зачетной книжки», его фамилия с именем и отчеством, дата рождения, домашний адрес и номер телефона. В качестве ключевого атрибута выступает «№ зачетной книжки», т.к. он однозначным образом идентифицирует каждый экземпляр сущности. Предположим, что у один студент может предоставить несколько номеров телефонов, следовательно, атрибут «Номер телефона» является многозначным и поэтому заключается в двойную рамку. Аналогично для каждой сущности подобраны свои характеристики.

Особое место в диаграмме «сущность-связь» занимают связи между сущностями-объектами. Поскольку, как было отмечено ранее, связи отражают реальную взаимосвязь между объектами, студентам необходимо проанализировать внешнюю модель и выделить эти взаимосвязи. На диаграмме присутствуют пять связей с различной кардинальностью. Поясним их. Между сущностями «Факультеты» и «Направления» образуется связь один-ко-многим – на одном факультете сформировано несколько направлений, но одно направление только на одном факультете, что представлено на диаграмме связью «сформированы» между сущностями «Факультеты» и «Направления». Этот же вид связи один-ко-многим между сущностями «Направления» и «Группы» также представлен связью «сформированы» – на одном направлении сформировано много групп, но одна группа только на одном направлении. Между сущностями «Группы» и «Студенты» также связь один-ко-многим – в одной группе учатся много студентов, но один студент учится только в одной группе, что представлено на диаграмме связью «учатся». Между сущностями «Группы» и «Дисциплины» кардинальность связи многие-ко-многим – одна группа изучает много дисциплин и одну дисциплину изучают много групп, что представлено на диаграмме связью «изучают». Данная связь представляет расписание занятий групп по дисциплинам и имеет свои атрибуты – характеристики связи. В данном случае характеристиками связи «изучают» являются атрибуты «День недели», «Номер пары» и «Номер аудитории. Связь «сдают» также имеет кардинальность многие-ко-многим и собственные атрибуты – «Дата сдачи» и «Оценка». В этой связи участвуют сразу три сущности – «Студенты», «Дисциплины» и «Виды испытаний». Она позволяет вести индивидуальный учет успеваемости студентов по дисциплинам.

Следующий этап проектирования – преобразование информационной модели в логическую модель, которую можно реализовать в заданной системе управления базами данных (СУБД). Из множества существующих моделей мы выбрали

для реализации реляционную модель данных, поскольку эта модель занимает лидирующее место и довольно проста в реализации на примере СУБД MS Access. Второй этап может занимать от четырех до восьми часов аудиторных занятий в зависимости от количества вводимых данных и сложности проектируемых запросов, форм и отчетов.

Второй этап начинается с преобразования информационной (концептуальной) модели в реляционную. Для этого для каждой сущности диаграммы «сущность-связь» создается базовое отношение (таблица, в которую будут занесены данные), причем каждому атрибуту сущности соответствует столбец таблицы. Ключевой атрибут сущности становится первичным ключом таблицы. Для сущностей, участвующих в связи один-ко-многим, в таблицу, представляющую сущность с кардинальностью «многие», добавляется столбец первичного ключа сущности с кардинальностью «один», и он становится внешним ключом таблицы. В нашем примере это сущности «Факультеты» и «Направления», «Направления» и «Группы», а также «Группы» и «Студенты». Для сущностей, которые участвуют в связи многие-ко-многим, создается отдельная таблица, и в нее помещаются ключевые атрибуты сущностей, участвующих в связи, и атрибуты связи. В нашем примере это сущности «Группы» и «Дисциплины» и сущности: «Студенты», «Дисциплины» и «Виды испытаний». Также отдельная таблица создается для многозначного атрибута, в эту таблицу помещается ключевой атрибут сущности и многозначный атрибут, первичным ключом становится сочетание этих атрибутов.

После того, как реляционная модель нарисована на бумаге, расставлены все первичные ключи и обозначены связи, наступает время работы на компьютере. Студенты запускают пакет MS Access, входящий в состав MS Office, и в режиме конструктора создают пустые таблицы базы данных. Затем в окне «схема данных» необходимо задать связи между таблицами и обязательно поставить галочку «обеспечение целостности данных» при задании связи. Только когда реляционная модель полностью создана в редакторе связей «схема данных» (рисунок 5), можно заполнять данными таблицы.

Информационное и логическое проектирование базы данных «Учет успеваемости студентов» относится к компетентностно-ориентированным заданиям, формирующим информационные, проблемно-исследовательские, инструментальные и коммуникативные компетенции. Опыт работы в области информационного моделирования повышает интеллектуальный уровень обучающихся и является одним из основополагающих факторов воспитания грамотных специалистов в инженерном образовании.

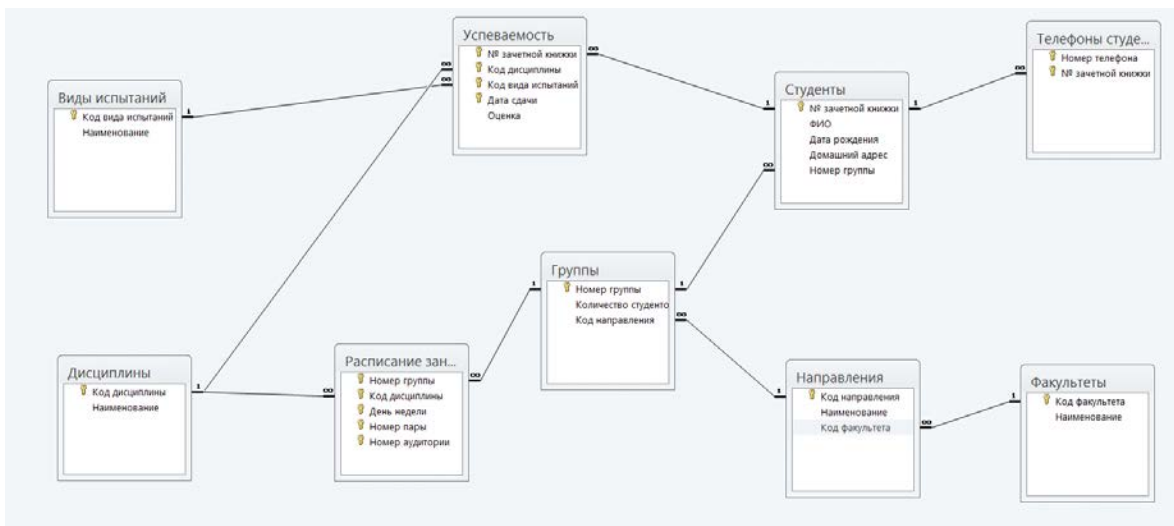


Рисунок 5 – Схема данных БД «Учет успеваемости студентов»

ПРОИЗВОДСТВО

УДК 624.21

Д.Н. Парышев
ЗАО «Курганстальмост»

КУРГАНСТАЛЬМОСТ И ЕГО МЕСТО В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ

Аннотация. В статье приведена краткая история становления флагмана отечественного мостостроения. Подробно описана структура завода, технологии изготовления металлоконструкций для мостов всех типов, спортивных сооружений, торговых центров, объектов промышленного и гражданского назначения. Приведены основные материалы и стали, из которых на ЗАО «Курганстальмост» изготавливаются металлоконструкции. Представлено описание холдинга в составе ЗАО «Курганстальмост» и ООО «Мостпроект».

Ключевые слова: металлоконструкции, мосты, стали, промышленное оборудование, сварочное производство, учебный центр, промышленные и гражданские сооружения.

D.N. Paryshev
ZAO Kurganstalmost

ZAO KURGANSTALMOST AND ITS PLACE IN RUSSIAN BUILDING INDUSTRY

Annotation. This article holds a brief history of the establishment of the Russian bridge-making industry flagship. It gives a detailed description of the factory structure, the technology of making steel structures for all types of bridges, sports facilities, shopping malls, industrial and civil construction objects. The article lists main materials and steels used by ZAO Kurganstalmost to make steel structures. It also describes the corporate group made of ZAO Kurganstalmost and ООО Mostprojekt.

Key words: steel structures, bridges, steels, industrial equipment, welding production, training center, industrial and civil structures.

Во второй половине XX века во время интенсивного освоения нефтегазовых месторождений Тюменского Севера, строительства Байкало-Амурской магистрали, сети дорог Казахстана, Средней Азии, Сибири и Дальнего Востока появилась необходимость в строительстве нового завода, специализирующегося на производстве стальных конструкций железнодорожных и автодорожных мостов. Постановлением Совета

Министров СССР от 22 октября 1970 г. было принято решение о строительстве такого завода в городе Кургане. Началом строительства завода считается февраль 1975 г., когда была образована «Дирекция строящегося завода мостовых металлических конструкций». Днем рождения завода считается 1 июля 1979 г., в этот день «Дирекция» реорганизована в Курганский завод мостовых металлических конструкций (КЗММК), а на следующий день была отгружена первая продукция.



Рисунок 1 – Здание заводоуправления

В настоящее время ЗАО «Курганстальмост» – это предприятие, которое имеет оснащенные современным оборудованием производственные корпуса, развитую сеть коммуникаций, обеспечено всеми видами энергии. В последние годы на предприятии было направлено более 1 млрд руб. на масштабную реконструкцию производства, сопровождаемую внедрением передового высокопроизводительного современного оборудования, что наряду с внедрением автоматизированной системы управления производством во всех подразделениях завода позволило значительно сократить время подготовки к выпуску новых изделий, увеличить объемы выпуска и улучшить качество продукции. Этот процесс затронул весь производственный цикл: складское хозяйство, металлообрабатывающее и сборо-сварочное производство, цех антикоррозионной защиты металлоконструкций.

На предприятии внедрена и функционирует система менеджмента качества, сертифицированная Регистром Ллойда на соответствие требованиям стандарта ISO 9001:2008. В настоящее время ведутся работы по модернизации системы до уровня требований стандарта ISO 9001:2015.

Для изготовления металлоконструкций наиболее широкое применение нашли углеродистые и низколегированные стали классов С235 – С390, а для мостовых конструкций – С345 – С390. Стали для мостостроения, а также для изготовления ответственных конструкций промышленного назначения должны обладать рядом особых свойств,

обеспечивающих долговременную (не менее 100 лет) и надежную работу основных несущих конструкций, воспринимающих многочисленные нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации объекта: статические постоянные и временные, динамические, в том числе циклические нагрузки и деформации, возникающие от колебания температур и др. Причинами возникновения эксплуатационных нагрузок являются различные природные явления, серьезность и опасность которых определяются суровыми климатическими условиями, особенно присущие для российских регионов: сейсмические явления, низкие температуры, ветра и осадки и т.п. В последние годы при появлении новых видов продукции (сооружения спортивного назначения, строительные конструкции высотных зданий и т.п.) на заводе освоены и широко применяются высокопрочные стали вплоть до класса С460 включительно.

Новое направление в мостостроении связано с применением сталей с повышенной антикоррозионной стойкостью. Совместно с комбинатом «Уральская сталь» нашим заводом проведены необходимые работы по применению атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ в мостовых конструкциях. Атмосферостойкая сталь – сталь, содержащая специфические элементы для получения стабильных, плотных слоев ржавчины с хорошей адгезией к основному металлу. Такая «ржавчина» (так называемая «патина») развивается в условиях переменного увлажнения и сушки и образует защитный барьер, препятствующий доступу кислорода и влаги к поверхности металла. При этом скорость коррозии снижается до 6...8 микрон в год. При этом не требуется защита, в том числе и лакокрасочными материалами, во время всего срока эксплуатации сооружения. Результаты проведенных испытаний технологических проб, подборка сварочных материалов и режимов сварки, результаты проведения испытаний натуральных образцов на усталостную прочность прошли государственную экспертизу, и сталь была рекомендована для использования в строительстве путепровода на автодороге Москва – Санкт-Петербург, построенного в 2016 г. Применение атмосферостойкой стали продолжается на автодорожных мостах, в ближайшем будущем планируется использовать ее и для железнодорожных мостов.

Одним из распространенных элементов, входящих в состав несущих конструкций мостов, являются ортотропные плитные элементы (ортотропные плиты). Стальные ортотропные плиты по сравнению с аналогичными по несущей способности железобетонными плитами легче в 3-4 раза, что способствует значительному снижению нагрузки от собственного веса. Это приводит к ряду технико-экономических преимуществ, которые и обеспечивают им широкое применение в современном мостостроении. Продольные ребра ортотропных плит из соображений жесткости имеют трапециевидную (корытообразную) форму попе-

речного сечения. Такой профиль мы вынуждены были до недавнего времени закупать за рубежом. Для освобождения от импортной зависимости мы закупили и в 2013 году пустили в эксплуатацию пресс-тандем, обеспечивая тем самым собственное производство и получив возможность продажи родственным предприятиям гнутого профиля трапециевидального сечения.

Успех на современном строительном рынке в значительной степени зависит от объемов реализуемых услуг: от проектирования и изготовления до монтажа и сдачи, т.е. работа «под ключ». Для решения подобных задач предприятие целенаправленно развивало разные направления деятельности, явившись учредителем проектного предприятия ООО «Мостпроект» и строительномонтажного – ООО «Стальстроймонтаж». В настоящее время при работе в тесном контакте с указанными предприятиями мы в состоянии оказывать полный комплекс услуг: от проектирования до строительства и сдачи объекта.

ООО «Мостпроект» является разнопрофильной организацией и реализует следующие виды деятельности:

- проектирование и разработка наряду с мостовыми сооружениями объектов промышленного, гражданского и спортивного назначения;

- осуществление квалифицированного контроля соответствия качества металлоконструкций, изготавливаемых на специализированных предприятиях, установленным требованиям, включающим действующие требования нормативных документов, требования заводских документов, требования заказчика.

ООО «Стальстроймонтаж» осуществляет строительномонтажные, специальные и ремонтно-отделочные работы в соответствии со строительными нормами и правилами, а также с требованиями утвержденной проектно-сметной документации. Предприятие обладает всей необходимой материально-технической базой, квалифицированным персоналом и разрешительной документацией для выполнения отмеченных работ и услуг.

В настоящее время большая часть выпускаемой продукции изготавливается по индивидуальным проектам и относится к уникальным сооружениям. Это такие мостовые переходы, как «Русский» мост на острове Русский, самый длинный вантовый мост в мире, мост через бухту Золотой Рог во Владивостоке, мост через реку Иртыш в Ханты-Мансийске, Обуховский мост в Санкт-Петербурге и т.д, а также стадионы к Чемпионату Мира-2018 в городах Краснодар, Самара, Екатеринбург, Калининград, Санкт-Петербург, Москва, Ростов-на-Дону, мосты в Лейпциге и Дортмунде (Германия).



Рисунок 2 – Мостовой переход на остров Русский через пролив Босфор Восточный, г. Владивосток

Заводом освоены технологии изготовления металлоконструкций из труб большого диаметра до 1500 мм толщиной стенки, 50 мм класса прочности материала до С460. Достигнута максимальная автоматизация процессов сварки, что позволяет значительно повысить производительность труда. Эти технологии применены при изготовлении строительных конструкций стадиона Спартак в Москве и стадиона в Самаре.



Рисунок 3 – Футбольный стадион Спартак, г. Москва.

Полтора миллиона тонн металлоконструкций, выпущенных нашим заводом, работают на благо людей, сокращая расстояния.

Тенденции современного развития производства требуют постоянного внимания к обеспечению и поддержанию требуемого уровня профессиональной подготовки специалистов, сертификации производства и продукции, аттестации персонала. Для минимизации проблемы обеспечения предприятия высококвалифицированными специалистами сварочного производства в 2006 г. было создано предприятие ООО «Курганстальмост-Учебный центр», занимающееся подготовкой и повышением квалификации сварщиков. Учебный центр оснащен современным сварочным оборудованием, в штате центра работают квалифицированные преподаватели, которые более двадцати лет отработали сварщиками в основном производстве. Для теоретического обучения привлекаются преподаватели с кафедры сварки Курганского государственного

университета и германского сваро-технического учебного испытательного центра. Учебный центр обладает полномочиями в обучении и аттестации специалистов-сварщиков на соответствие требованиям НАКС (Национальное агентство контроля и сварки). Необходимость в аттестации производства по Европейским нормам потребовала решения данной проблемы с минимальными затратами для производства. Так, специалисты Учебного центра успешно прошли аккредитацию в Германии, и с 2007 г. ООО «Курганстальмост-Учебный центр» стало членом Европейского союза сварщиков. Это позволило ему проводить аттестацию сварщиков, операторов и технологий сварки по Европейским стандартам.

Будущее развитие производства на предприятии связывается с увеличением доли наукоемких, экологически чистых и энергосберегающих технологий, интеграцией в комплексную компьютеризацию производственного процесса, дальнейшим повышением эффективности производства. Для выполнения этих задач коллектив предприятия располагает необходимым интеллектуальным потенциалом и профессиональной подготовкой.

УДК 615.477; 621.762.5

В.П. Кузнецов^{1,2}, В.Г. Горгоц², А.В. Аникеев², А.А. Еманов²

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

²Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова г. Курган

ПРОИЗВОДСТВО НОВЫХ ВНУТРИКОСТНЫХ ОСТЕОИНТЕГРИРУЕМЫХ ИМПЛАНТАТОВ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье освещены вопросы изготовления кастомизированных имплантатов методом современной аддитивной технологии лазерного сплавления порошков титанового сплава.

Ключевые слова: остеointеграция, имплантат, аддитивные технологии, титановый сплав.

V.P. Kuznetsov^{1,2}, V.G. Gorgots², A.V. Anikeev², A.A. Emanov²

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

² Russian Ilizarov Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

PRODUCTION OF NEW OSTEOINTEGRATED INTRAOSSEOUS IMPLANTS USING THE METHOD OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

Annotation. This article considers the fabrication of customized implants by method of modern additive technology of titanium alloy powders laser fusion.

Keywords osteointegration, implant, additive technology, titanium alloy.

Метод остеointegrации в травматологии и ортопедии был предложен Н.Н. Вранемарк и впервые апробирован в 1990 г. в Швеции [1]. Сущность метода заключается во внедрении в мозговой канал кости титанового имплантата, на выступающий из кожи конец которого крепится абатмент и внешний протез.

Несомненно, выход на производство внутрикостных имплантатов требует новых решений на основе моделирования биомеханики конечностей с утраченным фрагментом инженерных разработок, учитывающих возможности современных технологий аддитивного производства [2].

Согласно стандарту F2792.1549323-1 организации ASTM International (American Society for Testing and Materials), аддитивные технологии определяются как «The process of joining materials to make objects from 3D-model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies», что означает процесс послойного объединения материала с целью создания объекта из данных 3D-модели. Послойное добавление материала составляет главное отличие аддитивных технологий от «вычитающих», суть которых сводится к послойному удалению материала из массива заготовки.

Аддитивные технологии послойного изготовления деталей обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными. Установлено, что изделия, полученные селективным лазерным плавлением, в некоторых случаях прочнее литых на 2-12 %. Это можно объяснить малым размером зерен и микроструктурных составляющих, которые образуются в результате быстрого охлаждения расплава. Быстрое переохлаждение расплава значительно увеличивает число зародышей твердой фазы и уменьшает их критический размер. При этом быстро растущие на зародышах кристаллы, соприкасаясь друг с другом, начинают препятствовать своему дальнейшему росту, тем самым формируя мелкозернистую структуру.

Аддитивные технологии производства имплантатов имеют следующие преимущества:

- обеспечивают оптимальную для интенсивного остеосинтеза и остеointegrации пористость поверхности, параметры которой рекомендованы

в работе [3];

- позволяют создавать имплантаты со сложной геометрией, обеспечивающей плотное прилегание и сохранение остеогенного содержимого интрамедуллярного канала кости;

- создают возможность формировать внутри имплантата каналы произвольной формы для внутренней доставки лекарств и допускают формирование тонкостенных элементов;

- позволяют формировать резьбу с любым профилем, в том числе с переменным диаметром и шагом;

- обеспечивают создание присоединительных поверхностей для быстросменных абатментов и реализации компрессионного метода остеосинтеза;

- позволяют формировать переходные поверхности с заданной геометрией и шероховатостью для создания условий, препятствующих проникновению инфекции в зоне контакта с мягкими тканями и кожей пациента.

Основными составляющими методологии создания кастомизированных имплантатов являются:

- трехмерная компьютерная томография;
- создание конечно-элементных моделей для прогнозирования нагрузок в костной ткани, возникающих при установке имплантата и в процессе остеointegrации;

- определение механических свойств атрофированной и живой кости;

- определение оптимальной структуры материала имплантата для ускоренной остеointegrации;

- определение параметров присоединительных элементов абатментов для протезирования.

Конструкция новых имплантатов, построенная на возможностях аддитивной технологии изготовления методом лазерного сплавления, обобщена в патенте РФ «Имплантат культы трубчатой кости» [4]. Конструктивное исполнение имплантатов методом лазерного сплавления из порошков титановых сплавов медицинского назначения позволило реализовать сложную геометрию наружной поверхности, обеспечивающей более надежную предварительную фиксацию в интрамедуллярном канале и создающей дополнительные возможности для ускоренного роста костного регенерата и создания защитного барьера от инфекции. Впервые во внутрикостном имплантате удалось реализовать концепцию вкручиваемой погружной части с комбинированной геометрией резьбовой поверхности, состоящей из заходной режущей-калибрующей и упорной прямоугольной резьбы при сплошной структуре сплавленного материала. Принципиально новым в конструкции имплантата для остеointegrации с реализацией компрессионной нагрузки является опорно-антисептический пояс (рисунок 1).



Рисунок 1 – Имплантат с центральным отверстием для ввода лекарственных препаратов (патент РФ №152558)

Заходная режущая часть имплантата обеспечивает формирование и калибровку прямоугольного профиля упорной резьбы для надежной фиксации имплантата в трубчатой кости. Предполагается, что прямоугольный профиль упорной резьбы создает только сжимающие распределенные нагрузки на кость. Аддитивная технология производства кастомизированных имплантатов позволила создать внутренний канал и реализовать идеи компрессионного нагружения кости и периодического подвода лекарственных средств в зоны метафиза и эпифиза (рисунок 2).

Опорный пояс позволяет передавать дополнительную распределенную сжимающую нагрузку на торец кости от аппарата внешней фиксации и служит для удержания антисептического препарата, препятствующего воспалению кожной и мышечной ткани.

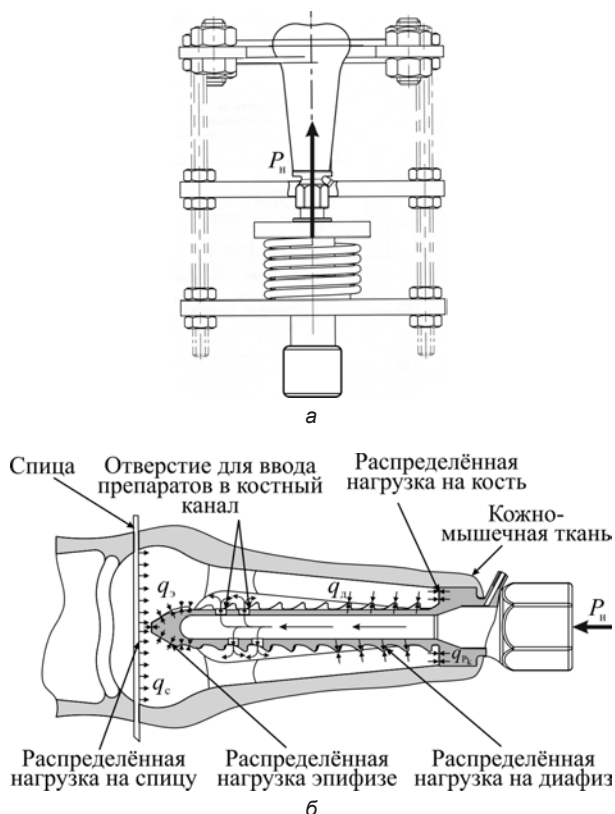


Рисунок 2 – Схема остеointegrации с компрессионной нагрузкой (а) и распределение нагрузки в зоне имплантата (б)

Компьютерное моделирование (рисунок 3) позволило создать в конструкции кастомизированных имплантатов различные варианты расположения отверстий от канала подвода антисептических и остеointегрирующих лекарственных средств [5].

Для практического изготовления внутрикостных имплантатов новой конструкции и проведения комплекса фундаментальных научных исследований закономерностей остеointеграции на интерфейсе «кость – имплантат» отработана технология перехода от результатов томографических исследований интрамедуллярного канала к компьютерным моделям имплантатов в программном пакете Solidworks.



Рисунок 3 – Имитация ввода лекарств в отверстия имплантата

Имплантаты изготавливались из особо чистого порошка Ti6Al4V со средним размером частиц 23,5 мкм производства фирмы Advanced Powders & Coatings Inc. (Канада) на установке EOSINT 280 (Германия) в Региональном инжиниринговом центре (г. Екатеринбург). Определены оптимальные схемы и режимы лазерного сплавления для имплантатов костей кроликов и собак.

Установлено, что для имплантатов с длиной менее 40 мм и наружным диаметром 3,0-5,5 мм целесообразно применять горизонтальную схему лазерного сплавления. При изготовлении новых конструкций имплантатов для интрамедуллярных каналов ампутированных костей длиной более 40 мм эффективна вертикальная схема аддитивной технологии сплавления.

Выполнен комплекс исследований топографии и физико-механических свойств специальных образцов со сплошной и пористой структурой сплавленного материала Ti6Al4V. Измерение параметров шероховатости поверхности образцов со сплошной структурой проводилось на приборе WYKO NT1100 методом VSI. По степени модуляции интерферометрических полос базовых и отраженных от поверхности лучей восстанавливались 3D-модели микропрофиля. Далее в программном пакете «VISION» определялись параметры шероховатости Ra, Rz микропрофиля поверхностей. Установлена достаточно высокая стабильность параметров топографии по всей поверхности образцов Ra=5,59 мкм и Rz=41,19 мкм, что, безусловно, обеспечит благоприятные адгезионные характеристики имплантатов из сплавлен-

ного материала. Известно, что наилучшая остеоинтеграция при дентальном имплантировании достигается при обеспечении шероховатости Ra погружной поверхности в пределах 2,07-8,68 мкм.

Проведенные исследования механических свойств образцов материала имплантатов показали, что он обладает достаточной прочностью на растяжение, сжатие и изгиб и имеет при сплошной структуре модуль Юнга $E=98$ ГПа. Модуль упругости определялся методом динамического механического анализа (DMA) на приборе DMA 242С немецкой компании NETZSCH после подготовки образцов методом трехточечного изгиба (рисунок 4).

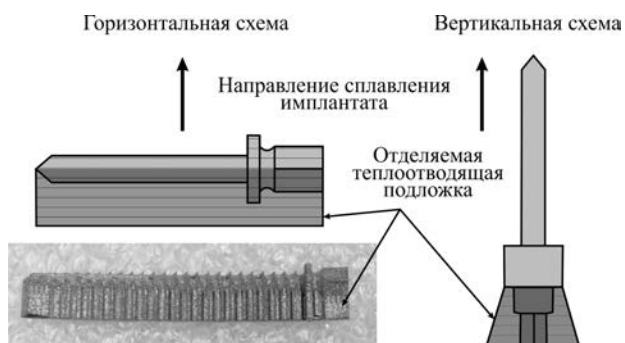


Рисунок 4 – Схемы селективного лазерного сплавления имплантатов

Предел прочности σ_b определялся путем испытания образцов на разрыв по ГОСТ 1497 на машине Instron 3382. Установлено, что для образца из сплавленного материала предел прочности равен 833,5 МПа и имеет практически многократный запас по отношению к прочности на разрыв бедренной и большой берцовой костей. Следует отметить, что материал испытанных образцов, изготовленных методом селективного лазерного сплавления, обладает к моменту разрушения значительным остаточным удлинением 11-12% при разрыве, что позволяет считать его пластичным материалом.

Важнейшей характеристикой имплантата является реакция на изменение температурного поля окружающей среды. На образцах квадратного сечения 10x10 мм толщиной 2,0 мм проведены исследования температуропроводности методом лазерной вспышки на приборе LFA 457.

В диапазоне изменения температуры от 25°C до 120°C температуропроводность повысилась с 3,02 мм²/с до 3,38 мм²/с (рисунок 5). Установленные значения температуропроводности для исследуемых образцов показывают, что имплантаты, изготовленные методом селективного лазерного сплавления из титанового порошка Ti6Al4V, могут быть использованы в естественных и искусственных условиях биомеханической системы «кость (регенерат) – имплантат».

На механические свойства сплава Ti6Al4V может также оказывать влияние соотношение между α - и β -фазами, а также размер зерна в структуре сплавленного материала [6]. Согласно Lutjering [7], наиболее важным фактором, определяющим ме-

ханические свойства $\alpha+\beta$ сплавов, является размер α -колоний. С уменьшением α -колоний повышается как предел текучести и пластичность материала, так и трещиностойкость химического состава титанового сплава Ti6Al4V, что после СЛС является необходимым для установления причин формирования механических свойств и определения путей повышения прочностных характеристик материала имплантатов для остеоинтеграции.

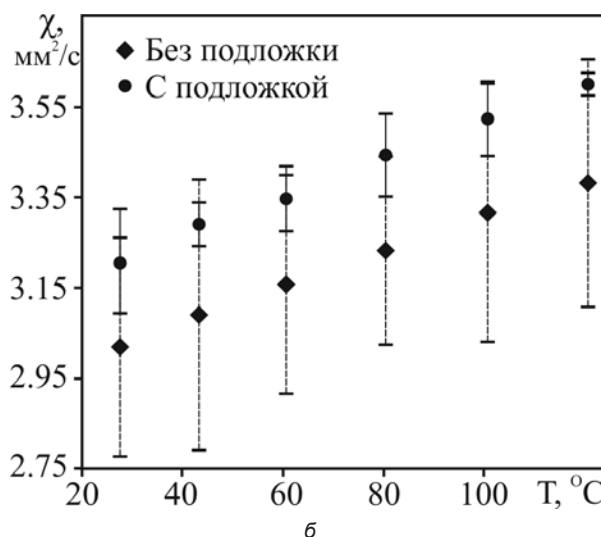
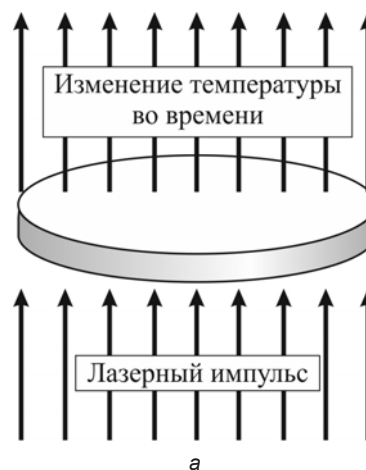


Рисунок 5 – Схема определения температуропроводности методом лазерной вспышки (а) и температуропроводность сплава Ti-6-4 при различных температурах (б)

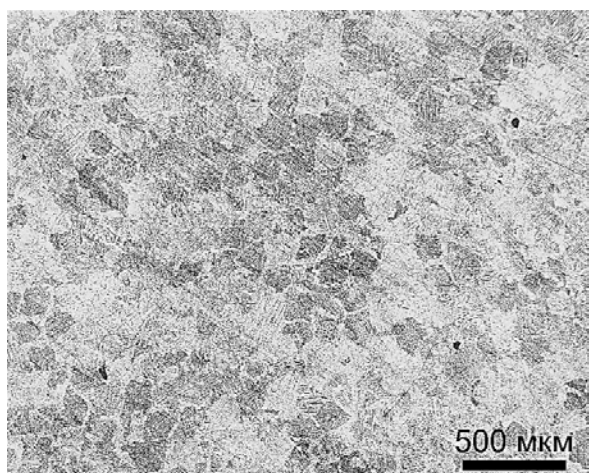
Для проведения микроструктурного анализа методом СЛС было изготовлено 6 цилиндрических образцов диаметром 12 мм и высотой 25 мм. Сплавление образцов выполнялось в направлении образующей цилиндра.

Для приготовления шлифов образцы разрезались на две равные части: 3 – вдоль оси образца; 3 – поперек. Далее выполнялась горячая запрессовка разрезанных частей в компаунде KonductoMet на установке Struers CitoPress-20. Поверхность разреза полировалась на шлифовально-полировальном станке Struers LaboPol-5 с устройством LaboForce-3. Финальная стадия полировки производилась с использованием алмазного суспензии. Приготовленные шлифы исследовались методом РЭМ на микроскопе Jeol JSM 6490.

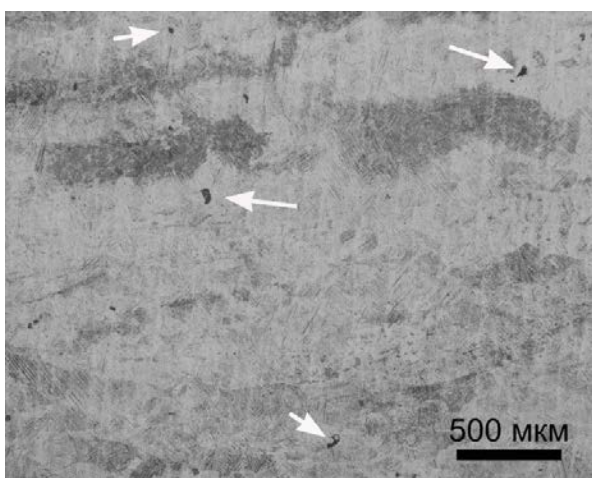
Микроструктурный анализ образцов позволил установить, что зеренная структура образцов со сплошной архитектурой, полученных методом послойного лазерного спекания, представлена исходным β -зерном. Размер зерна в поперечном направлении соответствует размеру лазерного пучка и равен 200 мкм (рисунок 6 а,б).

Скорость движения лазера была выбрана таким образом, чтобы воздействие каждого последующего импульса формировало новое зерно через 200 мкм. Зерно в полученном сечении имеет форму ромба, что может быть обусловлено формой пучка лазера.

Условия сплавления, а именно: малый слой наносимого порошка 30 мкм и хороший теплоотвод, обеспечиваемый подложкой толщиной 5 мм, – создают значительный градиент температуры по высоте формируемого образца. Зерна вытянуты вдоль направления сплавления, что хорошо видно на продольном шлифе (рисунок 6 б). Средний размер зерна в направлении сплавления составляет примерно 800 мкм. Достаточно высокая скорость охлаждения обеспечивает закалку сплава на мартенсит, поэтому внутри зерна наблюдается игольчатая α' -структура.



а



б

Рисунок 6 – Микроструктура материала, полученного методом селективного лазерного сплавления, в поперечном (а) и продольном (б) направлениях

Известно, что в сплаве Ti-6-4 при закалке обеспечивается фиксация α' -мартенсита из β -области. С точки зрения механических свойств мартенсит является неблагоприятной структурой, т.к. его формирование приводит к значительному снижению механических свойств. Образование мартенсита может приводить к хрупкому или усталостному разрушению. Необходима дополнительная термообработка, в том числе и для снятия внутренних закалочных напряжений. Режимы термообработки могут быть выбраны путем проведения рентгеноструктурного фазового анализа (РСФА) и установления точного химического состава сплава и типа образующегося мартенсита.

Несмотря на то, что в аддитивной машине при сплавлении локально формируется защитная атмосфера посредством продувки особо чистым аргоном, данный метод получения материала подразумевает активное насыщение поверхности металла кислородом. Кислород является сильным стабилизатором и может в значительной мере влиять на фазовый состав сплава. Поэтому стандартной температуры отжига 780°C для сплава Ti-6-4 может быть недостаточно для его значительного пластифицирования. В структуре присутствуют отдельные микропоры размером до 30 мкм. Средняя микропористость, по данным оптической металлографии (рисунок 6б), составляет менее 5%.



а



б

Рисунок 7 – Кролик с аппаратом внешней фиксации и устройством компрессионного нагружения имплантата (заявка на изобретения №2016108411 от 09.03.16) (а) и имплантат с нагружающим устройством и протезом в сборе (б)

Таким образом, селективное лазерное сплавление порошка титанового сплава Ti6Al4V на аддитивной машине EOSINT M280 позволяет получать однородную структуру с ярко выраженным ориентационным контрастом.

Клинические и морфологические данные, полученные при исследовании остеоинтеграции кастомизированных имплантатов в голень 9 кроликов в РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова (рисунок 7), свидетельствуют об эффективности компрессионной нагрузки и возможности доставки лекарств в костно-мозговой канал через отверстие в имплантате. Установлена минимизация послеоперационных осложнений и рост костного регенерата именно в зонах расположения отверстий имплантата.

Выявлено, что для удобства подвода лекарственных средств при использовании аппарата внешней фиксации с абатментом и устройством компрессионного нагружения необходимо оптимизировать положение входного отверстия, ведущего к внутреннему каналу имплантата.

Предварительный опыт управления компрессионной нагрузкой на кость выявил необходимость разработки математической конечно-элементной модели «культя кости–имплантат», что позволит уменьшить количество подопытных животных при дальнейших исследованиях.

Список литературы

- 1 Branemark P.-I., Grondahl K. *Osseointegration and Autogenous Onlay Bone Grafts: Reconstruction of Edentulous Atrophic Maxilla*. Quintessence Books. 2001. 160 pp.
- 2 Gubin A.V., Kuznetsov V.P., Borzunov D.Y. et.al. *Biomed Eng*(2016)50:285. Doi:10.1007/s10527-016-9539-6.
- 3 Isaakson B.M., Jeyapalina S. *Osseointegration: a review of the fundamentals for assuring cementless skeletal fixation*. *Orthopedic Research and reviews*. 2014.6. pp.55-56.
- 4 Патент РФ №152558. Имплантат культуры трубчатой кости / Кузнецов В. П., Губин А. В., Корюков А. А., Горгоц В. Г. Оpubл. 19.06.2015. Бюл. №16.
- 5 Заявка №2016138246 от 26.09.2016 г. Имплантат культуры трубчатой кости / Кузнецов В. П., Губин А. В., Еманов А. А., Аникеев А. В., Горгоц В. Г., Резник А. В., Борзунов Д. Ю., Овчинников Е. Н. Положительное решение о выдаче патента от 21.02.2017.
- 6 Antonyamy A. A. *Microstructure, Texture and Mechanical Property Evolution during Additive Manufacturing of Ti6Al4V Alloy for Aerospace Applications*. – *School of Materials*, 2012, 316 p.
- 7 Lütjering, G., *Influence of processing on microstructure and mechanical properties of (α)+(β) titanium alloys*. *Materials Science and Engineering A*, 1998. 243(1-2): p. 32-45.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аббкова Анастасия Александровна – аспирант, Курганский государственный университет, Курган.

Аникеев Алексей Викторович – инженер-конструктор, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова, Курган.

Барачевский Юрий Евлампиевич – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой мобилизационной подготовки и медицины катастроф, Северный государственный медицинский университет, Архангельск.

Бубнов Валерий Андрианович – доктор технических наук, профессор кафедры механики машин и основ конструирования, Курганский государственный университет, Курган.

Волк Владимир Константинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Курганский государственный университет, Курган.

Волков Глеб Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Механика машин и основы конструирования», Курганский государственный университет, Курган.

Гарост Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии металлов, Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь.

Гениатулин Агзам Миндыбаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», Курганский государственный университет, Курган.

Горбунов Михаил Владимирович – аспирант, Курганский государственный университет, Курган.

Горгоц Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Курганский государственный университет, Курган; Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова, Курган.

Долгорсурэн Марк Майнбаярович – студент, Курганский государственный университет, Курган.

Дыко Геннадий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

Еманов Андрей Александрович – старший научный сотрудник, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова, Курган.

Жаров Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта и автосервиса, Курганский государственный университет, Курган.

Жилевич Михаил Иванович – кандидат технических наук, заместитель декана автотракторного факультета, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

Змызгова Татьяна Рудольфовна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой программного обеспечения автоматизированных систем, Курганский государственный университет, Курган.

Зубрицкий Андрей Александрович – магистр технических наук, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

Иванюк Максим Викторович – начальник центра «Автоматизированная система управления предприятием», Акционерное общество «Механический завод», Орск.

Кишкевич Павел Нестерович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

Коротовских Валентин Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры механики машин и основ конструирования, Курганский государственный университет, Курган.

Кривоносова Елена Валерьевна – младший научный сотрудник, старший преподаватель кафедры межкультурных коммуникаций и технического перевода, Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь.

Кузнецов Виктор Павлович – доктор технических наук, профессор, Уральский федеральный университет, Екатеринбург; заведующий лабораторией научных исследований биомеханики и инжиниринга, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова, Курган.

Кузьмин Андрей Васильевич – заместитель главного конструктора, акционерное общество «Механический завод», Орск.

Кустенко Александр Александрович – старший преподаватель кафедры организации автомобильных перевозок и дорожного движения, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

Кутин Андрей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва.

Масляков Владимир Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, проректор по научной работе и связям с общественностью, Саратовский медицинский университет «Реавиз», Саратов.

Никифоров Сергей Иванович – главный эксперт управления по внешним связям, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск.

Парышев Дмитрий Николаевич – генеральный директор ЗАО «Курганстальмост», действительный член Российской Академии транспорта, Курган.

Пахомов Иван Владимирович – студент, Курганский государственный университет, Курган.

Рынкевич Сергей Анатольевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Организация автомобильных перевозок и дорожного движения», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

Савельев Виктор Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики и технологии металлов, Курганский государственный университет, Курган.

Савченко Александра Викторовна – аспирант, Саратовский медицинский университет «Реавиз», Саратов.

Семахин Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Курганский государственный университет, Курган.

Сергеев Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизации производства, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Сердюк Анатолий Иванович – доктор технических наук, директор Аэрокосмического института, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Смирнов Владимир Викторович – аспирант, Курганский государственный университет, Курган.

Соколова Наталья Николаевна – старший преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Курганский государственный университет, Курган.

Султанов Наиль Закиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматизации производства, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Тимирязев Владимир Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва.

Тютрин Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов, Курганский государственный университет, Курган.

Уханов Алексей Владимирович – магистрант, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Уханов Владимир Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Фалев Виталий Владимирович – магистр, Курганский государственный университет, Курган.

Черноусова Антонина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Чубик Петр Савельевич – доктор технических наук, профессор, ректор Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск.

Шелихов Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники, Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Щеголев Андрей Владиславович – кандидат технических наук, генеральный директор Акционерное общество «Механический завод», Оренбург.

AUTHORS

Ababkova Anastasia Alexandrovna – post-graduate student, Kurgan State University, Kurgan.

Anykeyev Aleksei Victorovich – construction engineer, Russian Ilizarov Scientific Centre «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan.

Barachevsky Yury Evlampiyevich – Holder of Habilitation degree in Medicine, Associate Professor, Head of the Chair of Mobilization Training and Emergence Medicine, Northern Medical University.

Bubnov Valery Andrianovich – Doctor of Engineering, Professor of the Chair of Machine Mechanics and Principles of Design, Kurgan State University, Kurgan.

Volk Vladimir Constantinovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Automatic Systems Software, Kurgan State University, Kurgan.

Volkov Gleb Yurievich – Doctor of Engineering, Professor of the Chair of Machine Mechanics and Principles of Design, Kurgan State University, Kurgan.

Garost Alexandr Ivanovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Material Engineering and Metal Technology, Belarus State Technological University, Minsk, Belarus.

Genyatulin Agzam Mindybayevich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Machine-building Technology, Metal-cutting Machine Tools and Instruments, Kurgan State University, Kurgan.

Gorbunov Mikhail Vladimirovich – post-graduate student, Kurgan State University, Kurgan.

Gorgots Vladimir Georgievich – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Researcher, Russian Ilizarov Scientific Centre «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan.

Emanov Andrei Alexandrovich – Senior researcher, Russian Ilizarov Scientific Centre «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan.

Dolgosuren Mark Maynbayarovich – student, Kurgan State University, Kurgan.

Dyko Gennadiy Alexandrovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Automobiles Belarus National Technological University, Minsk, Belarus.

Zharov Sergei Petrovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Motor Transport and Automobile Service, Kurgan State University, Kurgan.

Zhilevich Mikhail Ivanovich – PhD in Engineering, Vice-Dean of the Motor-and-Tractor Department, Belarus State Technological University, Minsk, Belarus.

Zmyzgova Tatyana Rudolfovna – PhD in Engineering, Head of the Chair of Automatic Systems Software, Kurgan State University, Kurgan.

Zubritsky Andrei Alexandrovich – Master in Engineering, Belarus State Technological University, Minsk, Belarus.

Ivanyuk Maxim Victorovich – Director of the «Management Information System» Center, Joint Stock Company «Mechanical Plant», Orsk.

Kishkevich Pavel Nesterovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Hydraulic And Pneumatic Control Systems and Hydraulic Pneumatic Actuator, Belarus National Technological University, Minsk, Belarus.

Krivosova Elena Valeryevna – Senior Lecturer of the Chair of Intercultural Communication and Technical Translation Service, Belarus National Technological University, Minsk, Belarus.

Kuznetsov Victor Pavlovich – Doctor of Engineering, Professor, Ural Federal University, Head of Laboratory of Biomechanics Scientific Research and Engineering, Russian Ilizarov Scientific Centre «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan.

Kuzmin Andrei Vasilyevich – Deputy Chief Designer, Joint Stock Company «Mechanical Plant». Orsk.

Kustenko Alexandr Alexandrovich – Senior Lecturer of the Chair of Traffic and Motor Transportation, Belarus National Technological University, Minsk, Belarus.

Kutin Andrei Anatolyevich – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Chair Of Mechanical Engineering Technology, Moscow State University of Technology “STANKIN” (MSTU), Moscow.

Korotovskikh Valentin Konstantinovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Machine Mechanics and Principles of Design, Kurgan State University, Kurgan.

Maslyakov Vladimir Vladimirovich – Holder of Habilitation degree in Medicine, Professor, Vice –Rector for Research and Public Relation, Saratov Medical University, Saratov.

Nikiforov Sergei Ivanovich – the Chief Expert of the Foreign Affairs Department, Tomsk Polytechnic University, Tomsk.

Paryshev Dmitriy Nikolaevich – General Director of JSC «Kurganstalmost», the full member of Russian Transport Academy, Kurgan

Pakhomov Ivan Vladimirovich – student, Kurgan State University, Kurgan.

Rynkevich Sergei Anatolyevich – Doctor of Engineering, Head of the Chair of Traffic and Motor Transportation Organization, Belarus State Technological University, Minsk, Belarus.

Savelyev Alexei Viktorovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Energetics and Metal Technology, Kurgan State University, Kurgan.

Savchenko Alexandra Viktorovna – post-graduate student, Saratov Medical University, Saratov.

Semakhin Andrei Mikhailovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Automatic Systems Software, Kurgan State University, Kurgan.

Sergeyev Alexandr Ivanovich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Factory Automation System, Orenburg State University, Orenburg.

Serdyuk Anatoliy Ivanovich – Doctor of Engineering, Director of Aerospace Institute, Orenburg State University, Orenburg.

Smirnov Vladimir Viktorovich – graduate student, Kurgan State University, Kurgan.

Sokolova Natalia Nikolayevna – Senior Lecturer of the Chair of Automatic Systems Software, Kurgan State University, Kurgan.

Sultanov Nail Zakievich – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Chair of Factory Automation System, Orenburg State University, Orenburg.

Timiryazev Vladimir Anatolyevich – Doctor of Engineering, Professor of the Chair Of Mechanical Engineering Technology, Moscow State University of Technology «STANKIN» (MSTU), Moscow.

Tyutrin Sergei Gennadievich – PhD in Engineering, Head of the Chair of Machine Mechanics and Principles of Design, Kurgan State University, Kurgan.

Ukhanov Alexei Vladimirovich – Master’s Student, Orenburg State University, Orenburg.

Ukhanov Vladimir Sergeevich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Construction Operations Technology, Orenburg State University, Orenburg.

Falev Vitaliy Vladimirovich – Master in Engineering, Kurgan State University, Kurgan.

Chernousova Antonina Mikhailovna – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Automated Engineering Design, Orenburg State University, Orenburg.

Chubik Pyotr Savelyevich – Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Tomsk Polytechnic University, Tomsk.

Shelikhov Evgeniy Sergeevich – PhD in Engineering, Associate Professor of the Chair of Automatic Electric Drive, Electromechanics and Electrotechnics, Orenburg State University, Orenburg.

Shchyogolev Andrei Vladimirovich – PhD in Engineering, General Director of Joint Stock Company «Mechanical Plant», Orenburg.

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение Зауралья в лицах. Балакшины.

140-летию Сергея Александровича Балакшина – организатора и создателя первого машиностроительного предприятия в Зауралье и Сибири посвящается

| | |
|---|----|
| В.А. Бубнов БАЛАКШИНЫ И НАЧАЛО МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЗАУРАЛЬЕ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ..... | 3 |
| П.С. Чубик, С.И. Никифоров С.А. БАЛАКШИН В ГОДЫ РАБОТЫ В ТОМСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ | 19 |
| В.А. Савельев С.А.БАЛАКШИН И МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА | 23 |
| В.А. Тимирязев, А.А. Кутин ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО УЧЕНОГО-ТЕХНОЛОГА, ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ РСФСР, ЛАУРЕАТА ЛЕНИНСКОЙ ПРЕМИИ, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА БОРИСА СЕРГЕЕВИЧА БАЛАКШИНА | 26 |

Машиноведение и детали машин

| | |
|---|----|
| Г.Ю. Волков, В.В. Смирнов, М.В. Горбунов РАСЧЕТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН | 28 |
| М.И. Жилевич, П.Н. Кишкевич, А.А. Зубрицкий АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ГИДРОЦИЛИНДРА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ ПОГРУЗЧИКА | 31 |
| А.А. Абабкова АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ | 34 |
| Т.Р. Змызгова КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОКАЗАНИЙ РЕАКЦИИ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СТЕПЕНИ УСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ | 38 |

Материаловедение и технология машиностроения

| | |
|--|----|
| В.А. Бубнов УПРОЧНЕНИЕ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ..... | 44 |
| А.И. Гарост, Е.В. Кривоносова ЛИТЕЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ И ПОЛИМЕРНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ | 50 |
| А.М. Гениатулин SWOT-АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ | 55 |
| А.И. Сергеев, А.И. Сердюк, А.В. Щеголев, М.В. Иванюк, А.В. Кузьмин ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПУАНСОНА НА ТОЛЩИНУ СТЕНКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ | 61 |
| Н.З. Султанов, В.С. Уханов, А.В. Уханов АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ | 65 |
| Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ КАК ПОДСИСТЕМА АСТПП НЕЖЁСТКИХ ВАЛОВ | 69 |
| В.К. Коротовских ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗАТОЧКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ НА ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ..... | 71 |

Транспорт

| | |
|---|----|
| М.М. Долгорсурэн, С.П. Жаров РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ | 74 |
| С.А. Рынкевич ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БОРТОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ | 77 |
| Г.А. Дыко РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПНОГО ВАРИАТОРА ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ..... | 84 |

Экология и безопасность жизнедеятельности

| | |
|--|----|
| В.В. Масляков, Ю.Е. Барачевский, А.В. Савченко СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ НАСЕЛЕНИЮ В РАЙОНЕ СОСРЕДОТОЧЕНИЯ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ..... | 89 |
| А.А. Кустенко ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ В ТРАМВАЙНОМ ДВИЖЕНИИ | 94 |
| А.А. Кустенко ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ В ТРАМВАЙНОМ ДВИЖЕНИИ | 97 |

Моделирование и эксперимент

| | |
|---|-----|
| С.Г. Тютрин К ВОПРОСУ О НАУЧНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ОСНАЩЕНИИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ИЗ ФОЛЬГИ И МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ | 100 |
| В.В. Фалев МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ..... | 102 |
| А.М. Семахин, И.В. Пахомов ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ..... | 107 |

Техническое образование

| | |
|--|-----|
| В.К. Волк ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПЛАНА КАК ОСНОВА ЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ | 110 |
| Н.Н. Соколова ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ | 113 |

Производство

| | |
|--|-----|
| Д.Н. Парышев КУРГАНСТАЛЬМОСТ И ЕГО МЕСТО В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ | 118 |
| В.П. Кузнецов, В.Г. Горгоц, А.В. Аникеев, А.А. Еманов ПРОИЗВОДСТВО НОВЫХ ВНУТРИКОСТНЫХ ОСТЕОИНТЕГРИРУЕМЫХ ИМПЛАНТАТОВ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ | 120 |

CONTENTS

TRANS-URALS ENGINEERING IN THE HISTORY OF PERSONS. THE BALAKSHINS. TO THE 140TH ANNIVERSARY OF BIRTH OF SERGEI ALEXANDROVICH BALAKSHIN – AN ORGANIZER AND CREATOR OF THE FIRST MACHINE-BUILDING PLANT I N TRANS-URALS AND SIBERIA DEVOTED

| | |
|---|----|
| V.A. Bubnov THE BALAKSHINS AND THE BEGINNING OF ENGINEERING IN ZAURALYE AND WESTERN SIBERIA | 3 |
| P.S. Chubic, S.I. Nikiforov S.A. BALAKSHIN DURING YEARS OF EMPLOYMENT AT TOMSK STATE TECHNOLOGICAL INSTITUTE | 19 |
| V.A. Savelyev S.A. BALAKSHIN AND SMALL-SCALE POWER GENERATION | 23 |
| V.A. Timiryazev, A.A. Kutin IN MEMORY OF THE OUTSTANDING NATIONAL SCIENTIST-TECHNOLOGIST, HONORED MASTER OF SCIENCES AND ENGINEERING OF THE RSFSR, LENIN PRIZE LAUREATE, DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES, PROFESSOR BORIS SERGEEVICH BALAKSHIN | 26 |

MACHINE SCIENCE AND MACHINE ELEMEN

| | |
|--|----|
| G.Y. Volkov, V.V. Smirnov, M.V. Gorbunov RELATIVE PERFORMANCE CALCULATION OF PLANETARY ROTARY HYDRAULIC MACHINES | 28 |
| M.I. Zhylevich, P.N. Kishkevich, A.A. Zubritski LOADING ANALYSIS OF HYDRAULIC CYLINDER IN LIFT MECHANISM OF LOADER TELESCOPIC ARM..... | 31 |
| A.A. Ababkova ANALYSIS OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE TRACKED VEHICLE TO PROVIDE ROBOTIC CONTROL MOVEMENT | 34 |
| T.R. Zmyzgova COMPUTER PROCESSING OF INTEGRAL STRAIN GAUGES INDICATIONS FOR DIAGNOSING THE DEGREE OF FATIGUE DAMAGE OF MACHINE PARTS AND STEEL STRUCTURES | 38 |

MATERIAL ENGINEERING AND ENGINEERING TECHNOLOGY

| | |
|--|----|
| V.A. Bubnov COLD PLASTIC DEFORMATION HARDENING OF AUSTENITIC STEEL | 44 |
| A.I. Harast, E.V. Kryvonosova CASTING MATERIALS FROM THE METAL-CONTAINING AND POLYMER INDUSTRIAL WASTE..... | 50 |
| A.M. Geniatulin SWOT-ANALYSIS OF THE USE OF CUTTING CERAMICS FOR MATERIALS PROCESSING IN AEROSPACE INDUSTRY | 55 |
| A.I. Sergeev, A.I. Serdjuk, A.V. Schegolev, M.V. Ivanyuk, A.V. Kuzmin THE INFLUENCE OF PLUNGER'S ACTION SPEED TO THE WALL THICKNESS IN HIGH-PRESSURE TANK MAKING | 61 |
| N.Z. Sultanov, V.S. Ukhanov, A.V. Ukhanov ANALYSIS OF METHODS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF RELIABILITY OF AVIATION TECHNOLOGY PRODUCTS | 65 |
| E.S. Shelikhov, A.M. Chernousova AUTOMATIC CORRECTION SYSTEM OF THE CONTROL PROGRAM AS THE SUBSYSTEM OF NON-RIGID SHAFT AUTOMATIC SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION | 69 |
| V.K. Korotovskikh EFFICIENCY OF HARD-FACE TOOL GRINDING WITH DIAMOND CIRCLES ON ORGANIC BONDS | 71 |

TRANSPORT

| | |
|--------------------------------------|--|
| M.M. Dolgorsuren, S.P. Zharov | |
|--------------------------------------|--|

| | |
|--|----|
| RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY USING LUBRICANTS IN MOTOR TRANSPORT | 74 |
| S.A. Rynkevich | |
| BASICS OF MANAGEMENT AND TEST OF MOTOR VEHICLES USING ON-BOARD MICROELECTRONICS..... | 77 |
| H.A. Dyko | |
| CALCULATION OF THE BASIC PARAMETERS OF THE CHAIN VARIATOR FOR THE VEHICLE TRANSMISSION..... | 84 |

ECOLOGY AND HEALTH AND SAFETY

| | |
|--|----|
| V.V. Maslyakov, Yu.E. Barachevskiy, A.V. Savchenko | |
| ENHANCEMENT OF THE ORGANIZATION OF HEALTH CARE DELIVERY TO THE POPULATION OF THE AREA OF DANGEROUS CHEMICAL OBJECTS CONCENTRATION | 89 |
| A.A. Kustenko | |
| INVESTIGATION OF THE TRAM SERVICE ROAD ACCIDENTS | 94 |
| A.A. Kustenko | |
| INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NOISE AND VIBRATION IN THE TRAM SERVICE | 97 |

MODELLING AND EXPERIMENTS

| | |
|--|-----|
| S.G. Tyutrin | |
| REVISITING SCIENTIFIC SUPPORT AND INSTRUMENTATION OF USAGE OF FOIL AND METAL COATING FATIGUE GAGES | 100 |
| V.V. Falev | |
| MODELLING OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR MAGNETIC FIELD | 102 |
| A.M. Semakhin, I.V. Pahomov | |
| THE CHOICE OF THE OPTIMUM PROJECT OF ORGANIZATION INFORMATION SYSTEM IN CONDITIONS OF PARTIAL INDETERMINACY | 107 |

ENGINEERING EDUCATION

| | |
|---|-----|
| V.K. Volk | |
| THE CURRICULUM INFORMATION MODEL AS THE BASE OF COMPUTERIZED EDUCATIONAL SYSTEM..... | 110 |
| N.N. Sokolova | |
| COMPETENCE – ORIENTED TASKS IN THE ENGINEERING EDUCATION | 113 |

TECHNOLOGY

| | |
|--|-----|
| D.N. Paryshev | |
| ZAO KURGANSTALMOST AND ITS PLACE IN RUSSIAN BUILDING INDUSTRY | 118 |
| V.P. Kuznetsov, V.G. Gorgots, A.V. Anikeev, A.A. Emanov | |
| PRODUCTION OF NEW OSTEOINTEGRATED INTRAOSSEOUS IMPLANTS USING THE METHOD OF ADDITIVE TECHNOLOGIES | 120 |

ВЕСТНИК

КУРГАНСКОГО № 2 (45)
ГОСУДАРСТВЕННОГО 2017
УНИВЕРСИТЕТА

СЕРИЯ

«ТЕХНИЧЕСКИЕ
НАУКИ»

Выпуск 12

Редакционная коллегия:

канд. юрид. наук К.Г. Прокофьев – главный редактор журнала

В.И. Курдюков – д-р техн. наук, профессор

Г.Ю. Волков – д-р техн. наук, доцент

В.Б. Держанский – д-р техн. наук, профессор

А.А. Благодоров – д-р техн. наук, профессор

Перевод – С.Г. Достовалов

Дата выхода в свет 17.04. 2017

Печать цифровая

Заказ № 68

Формат 60*84 1/8

Усл.печ.л. 16,75

Тираж 100 экз.

Бумага тип. 65 г/м²

Уч.-изд.л. 16,75

Цена свободная

Адрес издателя, типографии:

Библиотечно-издательский центр КГУ.

640020, г. Курган, ул. Советская 63, строение 4.

Курганский государственный университет.